



universität
wien

MASTERARBEIT / MASTER'S THESIS

Titel der Masterarbeit / Title of the Master's Thesis

Der Verlust von Nährstoffen durch Winderosion auf
landwirtschaftlich genutzten Flächen
am Beispiel organischen Kohlenstoffs im nördlichen Wiener Becken

verfasst von / submitted by

Timo Lücksmann, BSc.

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Master of Science (MSc.)

Wien, 2017 / Vienna 2017

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 066 855

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Masterstudium Geographie

Betreut von / Supervisor:

Ass.-Prof. Dr. Robert Peticzka

Inhalt

Präambel	4
Abstract	4
1 Einleitung	5
1.1 Winderosion	5
1.1.1 Aggregatstabilität, Korngröße und Partikelmasse	7
1.1.2 Bodenfeuchte und klimatische Bedingungen	7
1.2 organischer Kohlenstoff	8
1.2.1 vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff	9
1.3 anthropogene Nutzung	10
1.4 Experimente mit mobilen Windkanälen	11
1.5 Modellierung von Winderosionsereignissen	12
1.6 Probennahme	14
1.6.1 Beprobung mittel Schürf	15
1.6.2 Beprobung mittels Mikrostechzylinderhalterung	16
2 Zielsetzung und Hypothesen	17
2.1 Fragestellungen	18
3 Untersuchungsgebiet	18
3.1 Lage	18
3.2 Boden	19
3.3 Klima	20
4 Methoden	21
4.1 Geländearbeit	21
4.1.1 Vorbereitung der Testfläche	21
4.1.2 Anordnung der Zellen auf der Testfläche	21
4.1.3 Bodenprobennahme	23
4.2 Labormethoden	25
4.2.1 trockene Veraschung	25
4.2.2 LECO Kohlenstoff-Wasser-Analysator RC612	25
4.3 Statistische Methoden	26
5 Ergebnisse	27
5.1 vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff	28
6 Diskussion	31
6.1 Winderosion und Klima	31

6.2 Modellierung des Anteils an organischem Kohlenstoff im Boden	33
6.3 Anthropogene Nutzung	34
6.4 Windkanal und Simulation von Frost- und Tauperioden sowie Witterung.....	35
6.5 Probennahme	37
6.6 Aggregatstabilität	37
6.7 Fazit und Ausblick.....	38
7 Anhang.....	40
8 Abbildungen	50
9 Tabellen	51
10 Literatur	51
11 Eidesstattliche Erklärung	55

Präambel

Im Jahr 2015 fanden auf einer vorbereiteten Testfläche auf dem Gelände der Universität Wien technische Versuche mit einem mobilen Windkanal statt. Im Rahmen dieser Versuche wurden auch zwei Methoden der Bodenprobennahme getestet. Mit den hieraus gewonnenen Proben wurde die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff genau abgebildet. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Kapitel 1.6.1 und 1.6.2 angeführt.

Abstract

Der Verlust von Nährstoffen im Boden durch Winderosion ist ein wenig behandeltes Thema. Die vertikale Konzentration dieser Nährstoffe im Boden ist dabei von großer Relevanz. Um die Fragestellung beantworten zu können, mussten Methoden der Bodenprobennahme getestet werden, die es ermöglichen, die Konzentration eines exemplarisch ausgewählten Nährstoffs (organischer Kohlenstoff) in der Tiefe korrekt zu messen und darzustellen. Dazu wurden auf einer vorbereiteten Testfläche Mischproben mit einem Bohrstock (Pürckhauer) genommen. Die Proben wurden mittels eines Kohlenstoff-Wasser-Analysators im Labor ausgewertet und statistisch überprüft. Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmender Tiefe und Volumen aus dem die Mischproben stammen, der Anteil an organischem Kohlenstoff abnimmt. Im Vergleich zu den obersten Bodenschichten konnten Unterschiede von bis zu 13% organischen Kohlenstoffs nachgewiesen werden.

The loss of nutrients in soils due to winderosion is a topic that hasn't been discussed very often. The vertical concentration of nutrients in soils is of great relevance, whereas in this paper organic carbon was chosen to be examined. Soil sampling techniques had to be tested in order to find out, which technique is appropriate to measure and analyze the changes in the vertical concentration of organic

carbon. A soil sampler (Pürckhauer) was used on the study area to produce mixed soil samples. The samples were analysed with a carbon-water-analyzer and statistically tested. The results indicate that with increasing depth and volume of the sampled soil the amount and concentration of organic carbon decreases by up to 13% in a depth of 10 cm compared to the top-soil layer.

1 Einleitung

Der Verlust von fruchtbarem Bodenmaterial und den darin vorhandenen Nährstoffen durch Erosion stellt auf landwirtschaftlich genutzten Flächen Probleme dar. Der Abtrag von Bodenmaterial auf einer für Winderosion anfälligen Fläche kann mehrere Tonnen pro Jahr und Hektar betragen. Damit einher gehen auch Veränderungen im Nährstoffhaushalt des Bodens. Diese sind von ökologischem als auch wirtschaftlichem Interesse, da die Gefahr besteht, dass landwirtschaftlich genutzte Flächen degradieren. Sinkende Erträge auf diesen Flächen sind eine mögliche Folge davon.

Um dem Verlust von Nährstoffen entgegenzuwirken, also Nährstoffe durch Düngung wieder in den Boden einzubringen, werden nicht selten hohe finanzielle Mittel aufgewendet. Ebenso werden gezielt Maßnahmen gesetzt, um Erosion generell, Winderosion im Speziellen vorzubeugen. Das Anlegen von Windschutzgürteln, das gezielte Anpflanzen von Bäumen und Hecken auf oder angrenzend an für Winderosion anfälligen Flächen selber, eine durchgehende Vegetationsbedeckung des Erdreichs sowie auf die Witterung abgestimmte Bearbeitungs- und Bewirtschaftungsmethoden von landwirtschaftlich genutzten Flächen sind nur einige der möglichen Maßnahmen um Winderosion vorzubeugen beziehungsweise deren Auswirkungen zu mindern.

Die Auswahl an möglichen zu untersuchenden Nährstoffen und chemischen Verbindungen im Boden ist sehr groß. Im Zuge dieser Masterarbeit soll anhand eines einfach zu handhabenden und auch analytisch einfach zu messenden Nährstoffs der Einfluss von Winderosion auf den Nährstoffgehalt des Bodens untersucht werden. Es wurde organischer Kohlenstoff als zu untersuchender Nährstoff ausgewählt. Das notwendige technische Gerät zur Erhebung sowie Untersuchung von Bodenproben und deren Analyse auf ihren Anteil an organischem Kohlenstoff steht an der Universität Wien zur Verfügung. Organischer Kohlenstoff ist auch bei einer Lagerung über einen längeren Zeitraum stabil und die Laboranalytik ist vergleichsweise kostengünstig.

1.1 Winderosion

Äolische Prozesse finden immer an der Erdoberfläche statt. Je nach Transportmedium (Wasser oder Wind) unterscheidet man zwischen Wassererosion und Winderosion. Im Gegensatz zu Erosion durch Wasser, das ein Gefälle benötigt, findet Winderosion besonders auf offenen, weiten Ebenen statt.

Prinzipiell lässt sich Winderosion in drei Prozesse aufgliedern. Kriechen oder Reptation (engl. Creep), Saltation sowie Suspension. Die Auswehung von Material wird als Deflation bezeichnet (Blume et. al. 2010; Ravi et. al. 2011). Je nach Partikelmasse, Korngröße und Windgeschwindigkeit können eine oder mehrere Prozesse gleichzeitig in kurzer Zeit stattfinden.

Das Kriechen bezeichnet eine rollende Bewegung von Partikeln mit einer Korngröße von 0,5mm-2mm. Ein springender Transport findet bei Saltation statt (vornehmlich betroffene Korngrößen 0,05mm-0,5mm). Suspension (Korngrößen $<0,1\text{mm}$) beschreibt den im Luftstrom schwebenden Transport der Partikel. Mit zunehmender Windgeschwindigkeit werden saltierende Teilchen vom Windstrom erfasst, in die Höhe gehoben und beschleunigt. Die Transportstrecke kann das 10- bis 15-Fache der Höhe betragen. Beim darauffolgenden Auftreffen auf den Boden wird ein Teil der kinetischen Energie umgesetzt, indem Teilchen aus dem Boden- und Aggregatverband herausgeschlagen werden (Blume et. al. 2010; Ravi et. al. 2011). Etwa 50%- bis 75% der gesamten erodierenden Masse werden auf diese Weise (Saltation) bewegt. Durch die Übertragung kinetischer Energie saltierender Partikel auf ruhende Partikel können auch Teilchen in Bewegung gesetzt werden, die zwar zu schwer für den Luftstrom sind, aber an der Bodenoberfläche entlang kriechen können. Dabei können diese so mobilisierten Teilchen andere Aggregate zerkleinern und reiben an Partikeln anhaftende Feinteile wie etwa organisches Material ab. Aufgrund des geringen Gewichtes dieser Fein- und Feinstteile können diese über mehrere tausend Kilometer transportiert werden (Lal, 2005; Wang et. al. 2006; Yan et. al. 2004; Ritchie et. al. 2006; Harper et. al. 2010; Ravi et. al. 2011).

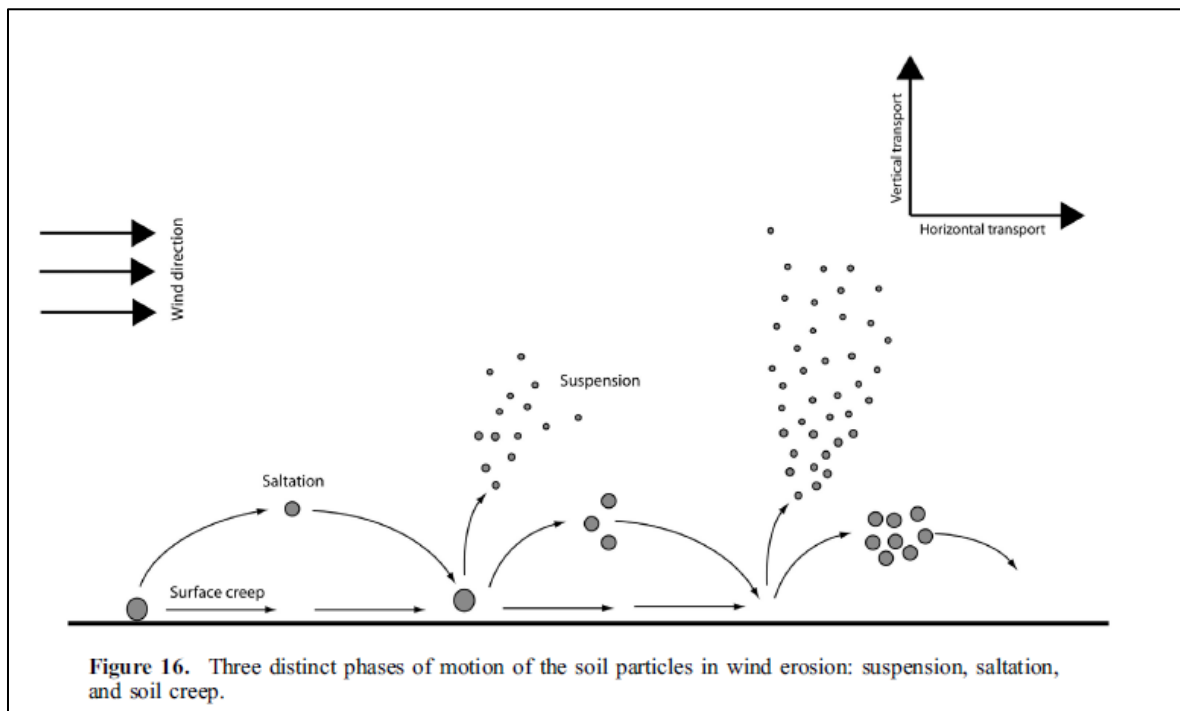


Abbildung 1: Prozesse bei Winderosionsereignissen (Ravi et. al. 2011)

1.1.1 Aggregatstabilität, Korngröße und Partikelmasse

Die Korngröße der Partikel und die Partikelmasse ist von großer Bedeutung für Winderosion (Zamani et. al. 2013), ebenso wie auch die Aggregatstabilität. In diesem Zusammenhang spielt es eine große Rolle, ob eine Fläche bewirtschaftet wird oder nicht (siehe dazu auch Kapitel 1.3). Durch Bewirtschaftungsmaßnahmen kommt es zur Zerstörung beziehungsweise Teilung von größeren, weniger für Winderosion anfälligen Aggregaten zu kleineren, deutlich anfälligeren (Colazo et. al. 2010; Zobeck et. al. 2012). Dass gerade kleinere Partikel von geringer Masse stärker von Winderosion betroffen sind wurde durch Feldtests der Universität Wien belegt (Peticzka, 2013). Bei diesen Tests wurde die Korngrößenzusammensetzung vor sowie nach einer Beweuhung von 20 Minuten bei einer Windgeschwindigkeit von 27m/s ausgewertet. In Abbildung 9 ist dies dargestellt. Es hat sich gezeigt, dass bereits nach kurzer Zeit deutliche Veränderungen in der Zusammensetzung der Korngrößen des Oberbodens durch Winderosion verursacht werden. Kleinere, masseärmere Partikel sind für Winderosion nachgewiesenermaßen deutlich anfälliger als größere.

1.1.2 Bodenfeuchte und klimatische Bedingungen

Von Bedeutung ist der Feuchtegehalt des Bodens wie auch das klimatisch bedingte Wechselspiel aus gefrorenem und nicht gefrorenem Boden. In Experimenten mit einem Windkanal (Wang et. al. 2013) sowie mit Modellen (McKenna-Neumann, 2002) wurde bereits nachgewiesen, dass trockene oder ausgetrocknete Böden ein höheres Gefährdungspotential hinsichtlich Winderosion aufweisen als feuchte Böden. Bei höherer Bodenfeuchte bilden sich stabilere Aggregate kleinerer Korngrößen. Eine Bodenfeuchte von über 2,34% auf gefrorenen beziehungsweise 2,61% auf getauten, sandigen Böden wurde als kritischer Wert einer Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Winderosion identifiziert (Wang et. al. 2013). Bei Temperaturen, die das Frieren des im Boden vorhandenen Wassers ermöglichen, frieren auch die stabilen Aggregate aus kleinen Korngrößen fest zusammen. Kommt es zu einem Windereignis und diese Aggregate werden mobilisiert, so kriechen diese entlang des Bodens. Mit jedem Zusammenstoß mit anderen Teilchen kann es zu einer teilweisen bis vollständigen Zerstörung des Aggregats kommen. Sobald die verlorene Masse des Aggregats dieses für Saltation anfällig macht, sowie der damit verbundenen, intensiveren physikalischen Zerstörung, erhöht sich auch der Anteil an in Suspension befindlichen Partikeln - so die Windgeschwindigkeit ausreicht. Dennoch sind gefrorene Böden widerstandsfähiger gegenüber Winderosion. Wie durch das Frieren des Bodens kann es auch durch Krustenbildung zu einer Veränderung der Oberfläche des Bodens kommen. Rajot et. al. (2003) haben in Feldtests nachgewiesen, dass in Modellen Krustenbildungen auf Böden mit einem Anteil von weniger als 3% Feinpartikelanteil (<20µm Durchmesser) vernachlässigt werden können. Atmosphärische Variablen wie Temperatur und Luftfeuchte sind in Modellen bessere Indikatoren für Winderosion als die Bodenfeuchte, da diese nur sehr schwer

korrekt für große Flächen ermittelt werden kann (Hagen et. al. 1995, McKenna-Neumann, 2002; Ravi et. al. 2004).

Zusammengefasst sind die wichtigsten Faktoren, die potentiell Winderosion beziehungsweise die Anfälligkeit für Winderosion beeinflussen, das Vorhandensein von Wind, die Bodenfeuchte sowie die Zusammensetzung der Korngrößen des Oberbodens und seiner Aggregate. Die Entfernung von Vegetation begünstigt die Anfälligkeit für Winderosion (Ruiz-Colmenero et. al. 2012). Dies hat zur Folge, dass bereits geringe Windgeschwindigkeiten in Bodennähe zu einem hohen Austrag von Bodenmaterial und damit auch organischer Substanz beziehungsweise organischem Kohlenstoff führen können.

1.2 organischer Kohlenstoff

Die besondere Bedeutung von organischem Kohlenstoff im Boden ist zahlreich belegt (Körschens, 2009; Blume et. al. 2010). Im Lehrbuch der Bodenkunde (Blume et. al. 2010) findet sich, dass über 80% der terrestrischen organischen Kohlenstoffvorräte in Böden gebunden sind. Zu dieser organischen Substanz gehören alle in und auf dem Mineralboden befindlichen abgestorbenen pflanzlichen und tierischen Streustoffe und deren organische Umwandlungsprodukte. Auch durch Menschen eingebrachtes Material wird dazugerechnet. Auf landwirtschaftlich genutzten Böden wird durch das Einpflügen von Ernterückständen organische Substanz dem Boden zugeführt, ebenso durch Düngung mit Gülle oder Feststoffen (Dexter et. al., 2004; Six et. al. 2014).

Die tote organische Substanz im beziehungsweise auf dem Boden bezeichnet man als Humus. Dieser Humuskörper kann mit dem Mineralboden vermischt sein, bildet aber auch den Auflagehumus vieler Böden. Der Gehalt an organischer Substanz im Oberboden wirkt sich hauptsächlich in ackerbaulich genutzten Böden auf den Bodenwärmehaushalt aus (Körschens 2009). Dies ist für den Kohlenstoffaustausch durch Bodenorganismen und die natürliche Wiederanreicherung des Kohlenstoffpools im Boden von Bedeutung. Organischer Kohlenstoff ist ungemein wichtig für das Pflanzenwachstum und wird, als Humus beziehungsweise als Humusgehalt eingerechnet, häufig als ein Indikator für die Fruchtbarkeit von Böden herangezogen (Lal 2002, Dawson et. al. 2007).

Der Verlust von organischer Substanz im Boden hat Auswirkungen auf die Aggregatstabilität und damit auch auf die Anfälligkeit gegenüber Winderosion (Colazo et. al. 2011). Ebenso betroffen davon ist die Wasserhaltekapazität sowie die Infiltrationsrate (Van Pelt et. al. 2007 & 2013) was Auswirkungen auf eine mögliche Aggregatbildung hat. Winderosion kann zu einem Verlust von bis zu 25% des gesamten organischen Kohlenstoffs in den obersten 5cm Boden führen (Li et. al. 2007).

Organischer Kohlenstoff weist physikalische Charakteristika auf, die in Hinblick auf eine mögliche Mobilisation durch Wind von Bedeutung sind. Aufgrund der geringen Partikelmasse ist organischer

Kohlenstoff hochmobil. Die geringe Partikelmasse bedeutet auch, dass, einmal in Suspension, die mobilisierten Partikel lange Zeit in der Erdatmosphäre verbleiben und große Distanzen zurücklegen können. Man sollte daher den tatsächlichen Nährstoffverlust am beziehungsweise im Boden ebenso berücksichtigen wie auch die Wirkung von durch Winderosion mobilisiertem Kohlenstoff auf die Erdatmosphäre. Die Rolle von Kohlenstoff auf die Erdatmosphäre ist nicht zuletzt von großer Bedeutung für die Modellierung von möglichen Klimaveränderungen (Ravi et. al. 2011, Körschens 2009).

1.2.1 vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff

Die Verteilung von organischem Kohlenstoff in den Bodenschichten ist keineswegs homogen. Sowohl in der vertikalen als auch in der horizontalen finden sich, ungleichmäßig verteilt, kleinere und größere Ansammlungen, etwa Wurzeln, Blätter, Samenkörner etc. Dies ist für die Bodenprobennahme und die weitere Analyse von großer Bedeutung. Der Gehalt an organischem Kohlenstoff einzelner Horizonte und damit die vertikale Konzentration ist inhomogen und unterliegt einem jahreszeitlichen Rhythmus. Der oberste Streuhorizont kann Werte nahe 100% organischer Substanz aufweisen. Nach Batjes (1996; in: Blume et. al. 2010) ergeben globale Schätzungen eine gespeicherte Masse von 1500 Pg organischer Substanz in den obersten 100cm Boden, davon etwa die Hälfte in den obersten 30cm. Mit zunehmender Tiefe findet sich eine absolute Zunahme der Wurzelbiomasse. In den obersten 10cm Tiefe etwa 30%, in 20cm Tiefe etwa 50% und in einer Tiefe von 40cm finden sich bereits 75% der Wurzelbiomasse. Dies bedeutet relativ jedoch eine Abnahme mit der Tiefe. Eine Abnahme der organischen Substanz mit zunehmender Tiefe des Bodens ist auch empirisch belegt (Yang et. al. 2009), jedoch von Standort zu Standort neu zu überprüfen da deutliche Unterschiede bereits auf kleinen Flächen möglich sind (Dawson et. al. 2007; Ritchie et. al. 2006).

Bei Tests mit einem mobilen Windkanal der Uni Wien (zum Design des Windkanals siehe Peticzka, 2010) wurde die Oberfläche einer Testfläche eingeebnet um eine möglichst genaue horizontale Referenz zu erhalten. Die Probennahme auf der Testfläche fand nicht willkürlich statt. In Abbildung 7 ist das Schema des Testaufbaus dargestellt. Getestet wurde auch, ob die Fläche mit Hilfe eines Laserscanners vor beziehungsweise nach einer Bewehrung erfassbar ist. Mit diesen Ergebnissen einen Abtrag von Bodenmaterial zu ermitteln ist auf Grund der zu ungenauen Auflösung (etwa 2mm) im extremen Nahbereich des zur Verfügung stehenden Laserscanners (Terrestrischer 3D Laserscanner Riegl VZ6000) nicht erfolgreich.



Abbildung 2: Vorbereitung der kontrollierten Testfläche



Abbildung 3: Vorbereitete Testfläche vor Aufbau des mobilen Windkanals

In zwei Testanordnungen (Beprobung mittels Schürf beziehungsweise Mikrostechzylinder, siehe dazu auch Kapitel 1.6.1 und 1.6.2) wurde die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff im Zentimeterbereich ermittelt. Klar gezeigt hat sich in beiden Tests, dass mit zunehmender Tiefe, aus der das Probenmaterial genommen wurde, auch der Anteil an organischem Kohlenstoff abnimmt. Bereits auf wenigen Zentimetern Bodenmächtigkeit finden sich Unterschiede in der Konzentration an organischem Kohlenstoff sowohl bei Betrachtung der Mittelwerte aus den jeweiligen Horizonten, als auch bei Betrachtung der absoluten Werte der einzelnen Proben (1-9) selber (siehe Abbildungen 52ff). Die Ergebnisse jedes beprobten Horizontes wurden nach Kolmogorov-Smirnov auf eine Normalverteilung getestet. Bei diesem Test wurde bei keinem der analysierten Datensätze eine Normalverteilung ausgeschlossen. In den Abbildungen 35-53 im Anhang sind die Histogramme und Werte der jeweiligen beprobten Horizonte dargestellt. Im Histogramm finden sich in Rot eingezeichnet die Kurven einer Normalverteilung, in grün eingezeichnet die Kurve der errechneten Verteilung. Eine Gegenüberstellung der Mittelwerte beziehungsweise des Medians jedes Horizontes zeigt ebenso eine Abnahme von organischem Kohlenstoff mit zunehmender Tiefe.

1.3 anthropogene Nutzung

Auf extensiv landwirtschaftlich genutzten Flächen findet Winderosion meist im Spätsommer/Herbst statt. Bei der Ernte wird die schützende Vegetationsdecke entfernt. Dadurch kann Material leichter mobilisiert werden, welches bisher nicht mobilisierbar war. Winderosion wird auf diesen Flächen ohne bodenkonservierende Maßnahmen wie beispielsweise Zwischenbegrünungen begünstigt. Die Offenhaltung von Böden durch Ackerbau beziehungsweise landwirtschaftliche Nutzung fördert also Winderosion (Blume et. al. 2010). Optimalerweise wird das Feld kurz nach der Ernte auf organischen Kohlenstoff beprobt, wenn dieses als Schwarzbrache besonders anfällig für Winderosion ist, und sich bei Windereignissen der Anteil an organischer Substanz im Oberboden in kurzen Zeiträumen

drastisch verändern kann. Durch die Bewirtschaftung mit Hilfe von Maschinen kann Bodenmaterial und organisches Material ebenso in Suspension gelangen, siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: maschinelle Bearbeitung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche (Petizcka, 2010)

Vorherrschende dominante Windrichtungen oder besondere topographische Eigenheiten der vom Menschen geschaffenen Kulturlandschaft, die auch klimatische und mikroklimatische Auswirkungen haben, sind ebenfalls zu erwähnen (Ruiz-Colmenero et. al. 2012, Alvarez et. al. 2012).

Der anthropogene Einfluss auf den Boden in Form ackerbaulicher Maßnahmen ist bei der Bodenprobennahme auf einer unvorbereiteten Fläche zu berücksichtigen und die Einstechpunkte dementsprechend auszuwählen. Bei der Beprobung der obersten Bodenschicht muss darauf geachtet werden, dass das natürliche Gefüge auf landwirtschaftlich genutzten Flächen durch die maschinelle Bearbeitung dauerhaft gestört sein kann (Bodenverdichtung, Fahrrinnen etc.) und auch regelmäßig gestört wird (Blume et. al 2010; Dexter et. al 2004)

Nach der Vegetationsperiode und Ernte der angebauten Feldfrucht findet meist eine bewusst herbeigeführte Nutzungspause und Wiederanreicherung des Kohlenstoffspeichers durch Einarbeitung beziehungsweise Einackern von abgeerntetem und abgestorbenem Pflanzenmaterial statt. Zusätzliche kohlenstoffanreichernde Düngemethoden verstärken dies. Eine Verminderung der Anfälligkeit gegenüber Winderosion landwirtschaftlicher Flächen sollte auch in Hinblick auf die Ernährungssicherheit ganzer Regionen eine Rolle spielen (Körschens 2009).

1.4 Experimente mit mobilen Windkanälen

Eine Vielzahl an wissenschaftlichen Fachbeiträgen zu Experimenten mit mobilen Windkanälen widmet sich der Messung des durch Winderosion abgetragenen Bodenmaterials. Oftmals wird die Menge des ausgetragenen Materials untersucht beziehungsweise eine Analyse der Korngrößenverteilung des ausgewehten Materials vorgenommen. Die Forschung und Entwicklung mit mobilen Windkanälen zeigt, dass es nach wie vor Verbesserungspotential im Design gibt. Die Probennahme vor beziehungsweise nach der Bewehrung, aber auch die Art und Weise wie das ausgewehrte mobilisierte Material aufgefangen wird, sind noch nicht vollends ausgereift (Hong et. al 2014, Basaran et. al. 2011)

Der generell experimentelle Charakter der Forschung im Bereich mobiler Windkanäle muss an dieser Stelle betont werden. Das Problem ist, dass mobile Windkanäle sich in der Dimensionierung der

Anlagen und der eingebauten Messtechnik von Modell zu Modell unterscheiden. Tests unter Laborbedingungen, aber auch der Einsatz von mobilen Windkanälen im Feld zeigen, dass das Design des Windkanals selber die Ergebnisse der Tests beeinträchtigen kann. Eine technisch einwandfreie Methode zum Auffangen von mobilisiertem Material in oder am Ende eines Windkanals ist bis dato noch nicht entwickelt. Das kann bedeuten, dass in dem auf diese Weise aufgefangenen Probenmaterial abtransportierte Nährstoffe inkorrekt ermittelt werden (Hagen et. al. 2003; Farsang et. al. 2013, Genis et. al. 2013; Fister 2014). Da bei diesen Tests unter kontrollierten Bedingungen ein Windereignis simuliert und mögliche Bodenabtragsraten errechnet werden, sind diese auch für die Kalibrierung von Computermodellen von Relevanz (Hagen et. al. 2003; Ritchie et. al. 2006).

1.5 Modellierung von Winderosionsereignissen

Mit Hilfe von Modellen ist es möglich, den Abtrag durch Winderosion zu ermitteln. Das am weitesten vorangeschrittene Computermodell zur Modellierung von Winderosion ist das Wind Erosion Prediction System (WEPS) der Wind Erosion Research Unit des US-Department of Agriculture. Dieses ist im Speziellen für landwirtschaftliche Nutzflächen konzipiert und hat seine Ursprünge in der WEQ (Wind Erosion Equation) (Tatarko, o. J.) beziehungsweise in der RWEQ (Revised Wind Erosion Equation) (Ravi et. al. 2011; Van Pelt et. al. 2011). Das prozessbasierte Modell des WEPS (Wind Erosion Prediction System) besteht aus einer Benutzeroberfläche und greift auf sieben Untermodelle sowie vier Datenbanken zurück. In Abbildung 5 ist dieser Aufbau abgebildet (Hagen 1995, Wagner 2014). Das WEPS ist primär dafür konzipiert, die Masse zu bestimmen, die während eines bestimmten Zeitraumes auf einer bestimmten Fläche erodiert wird. Das Modell wird mit den notwendigen Parametern befüllt. Weitere Faktoren wie Windrichtung, Windstärke, Art der angebauten Feldfrucht können ebenfalls mitberücksichtigt werden, ebenso natürliche Hindernisse, die das zu untersuchende Gebiet eingrenzen. Das Ergebnis der Modellierung ist ein bestimmter (Masse-) Wert der pro Zeiteinheit mobilisiert wird, ungeachtet der darin befindlichen Nährstoffe. Das bedeutet, die Ergebnisse des WEPS können beantworten, wieviel Material erodiert wird.

Der Austrag von Nährstoffen, im Speziellen durch Winderosion, wurde auf diese Weise bereits modelliert (Yan et. al. 2004, Wang et. al. 2006). Von besonderer Bedeutung ist, aus welcher Mächtigkeit die Bodenproben genommen wurden, die für die Berechnung des Verlustes von Nährstoffen herangezogen wurden. Wie in Kapitel 1.2.1 dargelegt ist organischer Kohlenstoff nicht gleichmäßig im Boden verteilt.

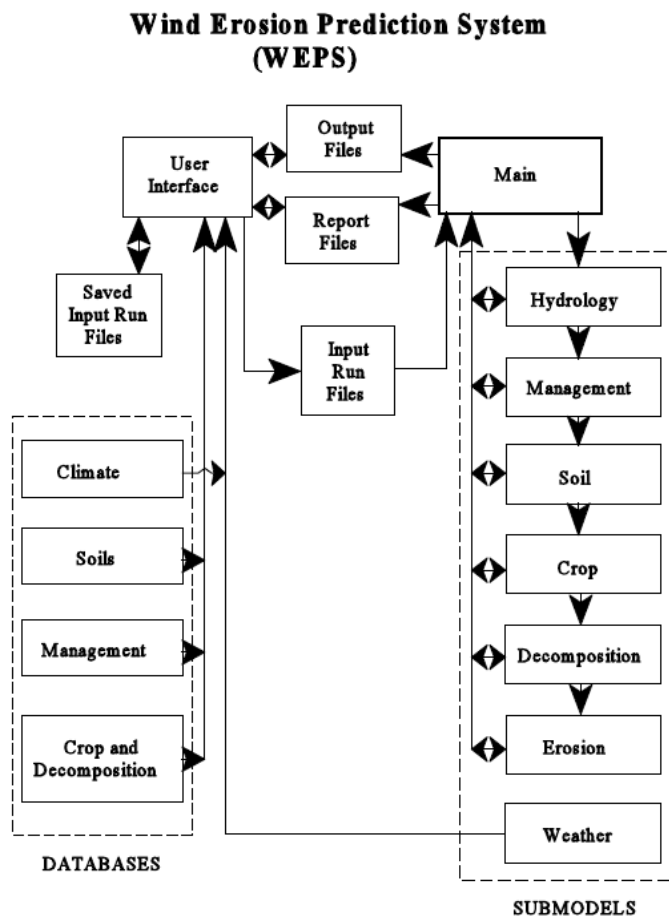


Abbildung 5: Struktur des WEPS (Wagner, 2014)

In Hinblick auf die Modellierung von Nährstoffverlusten sind das Untermodell für Boden sowie jenes für Erosion und der Datensatz für Boden wichtig. Das Untermodell für Erosion berücksichtigt die Oberflächenrauheit des Bodens, vorhandene Biomasse und Vegetation, Verteilung der Korngrößen und Aggregate der Bodenpartikel, die Bodenfeuchte sowie eine mögliche Krustenbildung oder das Vorhandensein von größeren Steinen oder Felsen, die das Erdreich abdecken (Hagen 1995; Wagner, 2014).

Funk et. al. (2004) haben den Verlust von Bodenmaterial mit Hilfe des WEPS modelliert als auch im Feld mit Sedimentfallen das erodierte Material aufgefangen und sind zu dem Schluss gekommen, dass sowohl der Masseverlust als auch die räumlichen und zeitlichen Veränderungen im Transport des mobilisierten Material zufriedenstellend dargestellt werden. Es konnten jedoch keine verlässlichen Aussagen über den Verlust von Bodennährstoffen getroffen werden.

Es findet sich in der Modellierung des WEPS als einziger Faktor, der organisches Material berücksichtigt, der K-Wert als Indikator für die Oberflächenrauheit im Boden-Untermodell. Eine durch Winderosion hervorgerufene stetige Abnahme des Kohlenstoffpools im Boden wird nicht

simuliert, da das Boden-Untermmodell nicht auf die Zwischenergebnisse des WEPS zurückgreift (Hagen et. al. 1995).

Vergleiche zwischen Modell und Messungen im Feld haben gezeigt, dass das WEPS in der Lage ist, intensivere Windereignisse mit einem hohen Grad an ausgewehstem Material besser darzustellen ($r^2 > 0,9$) als weniger intensive Windereignisse ($r^2 \sim 0,6$) (Funk et. al. 2003). Aktuell ist das WEPS in Version 1.3.9 (02. Dezember 2013) auf der Webseite des United States Department of Agriculture kostenfrei herunterladbar.

1.6 Probennahme

Autoren, die im Zuge ihrer Arbeit den Anteil an organischem Kohlenstoff auf der von ihnen untersuchten Fläche untersucht haben, haben unterschiedliche Methoden der Probennahme angewandt. Die ermittelten Werte stammen aus unterschiedlichen Horizonten beziehungsweise Einstechtiefen sowie einer unterschiedlich großen Anzahl an Proben (z.B.: Aldana-Jague et. al. 2016, Brogniez et. al. 2015, Ryals et. al. 2014, Six et. al. 2014; Wiaux et. al. 2014, Li et. al. 2013; Ruiz-Colmenero et. al. 2013; Zobeck et. al. 2013; Alvarez et. al. 2011, Körschens 2010; Colazo et. al. 2010, Boix-Fayos et. al. 2009, Chen et. al. 2002). In Tabelle 1 sind die Einstechtiefen der von den angeführten Autoren durchgeführten Bodenproben gegenübergestellt.

Autoren	Einstechtiefe
Aldana-Jague et. al. 2016	0-20cm, 20-40cm, 40-60cm
Brogniez et. al. 2015	15cm/20cm
Ryals et. al. 2014	10cm
Six et. al. 2014	15cm/20cm
Wiaux et. al. 2014	30cm/30cm-40cm/40cm-60cm/60cm-100cm
Li et. al. 2013	20cm
Ruiz-Colmenero et. al. 2013	10cm
Alvarez et. al. 2011	10cm
Colazo et. al. 2010	2,5cm
Körschens 2010	30cm
Boix-Fayos et. al. 2009	5cm/5cm-10cm
Chen et. al. 2002	5cm/80cm

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Einstechtiefe bei der Probennahme unterschiedlicher Autoren

In manchen Studien werden bis zu 100 Zentimeter, üblicherweise aber die obersten 20 Zentimeter Boden beprobt. Gängige Praxis der Probennahme ist es, mittels Stechzylinder Mischproben zu gewinnen. Generell wird ein bestimmtes Volumen (des Stechzylinders) an Bodenmaterial genommen, ungeachtet der vertikalen Verteilung beziehungsweise Konzentration von Nährstoffen. Das hat zur Folge, dass besonders kohlenstoffreiche, oberflächennahe Bereiche mit darunterliegenden, kohlenstoffärmeren Bereichen vermischt werden. Auf Ackerflächen sollte die

Mischprobe aus einem Volumen von ca. 20cm beziehungsweise je nach Bearbeitungstiefe genommen werden (ÖNORM L1055; ÖNORM L1056, ÖNORM L1057).

Da die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff mit der Tiefe abnimmt, sind die Werte, die aus Mischproben aus großen Einstechtiefen genommen wurden, nicht geeignet, um diese auf das laut einem Computermodell erodierte Material 1:1 umzulegen. Die aus Mischproben ermittelten Werte unterschätzen die Konzentration von organischem Kohlenstoff im Oberboden der tatsächlich für Winderosion anfällig ist. Es wurden zwei Methoden (Siehe Kapitel 1.6.1 und 1.6.2) auf einer präparierten Testfläche getestet die hinsichtlich der Anforderung, die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff im Boden korrekt abzubilden, vielversprechend sind.

	Misch- probe	Feld- tauglich (Corg)	einfache Hand- habung	Witterungs- unabhängig	vertikale Konzentration	Standard- isiert	Hoch- auf- lösend
Stechzylinder	+	-	+	+	-	+	-
Mikrostechnyl inder	-	-	-	+	+	-	+
Schürf	-	-	-	-	+	-	+
Bohrstock	+	+	+	+	-	+	-

Tabelle 2: Gegenüberstellung von Methoden zur Probennahme

1.6.1 Beprobung mittel Schürf

Eine manuelle Probennahme mittels Anlegen von Schürfen ist in vielerlei Hinsicht von der Arbeitsweise der Person, die die Proben nimmt, abhängig. Prinzipiell lassen sich mit dieser Methode qualitativ gute Proben gewinnen.

Bei den in der Präambel angeführten Tests wurde nach Anlegen des Schürfes ein Zentimeterstock im Boden fixiert der es ermöglicht eine vertikale Einteilung der Schürfwand vorzunehmen. Aus der freiliegenden Schürfwand wird mit einem Spatel Material entnommen. Dabei wird bewusst auch eindeutig ersichtliches, größeres organisches Material mit in die Probe aufgenommen (etwa Wurzelreste, zerkleinerte Blätter, abgestorbene Pflanzenteile, jedoch keine Lebewesen). Es muss darauf geachtet werden, dass innerhalb des Schürfes das Probenmaterial aus der untersten zu beprobenden Schicht zuerst genommen wird, um eine möglich Verunreinigung durch herabfallendes, darüber liegendes Material auszuschließen.



Abbildung 6: angelegter Schürf auf der Testfläche

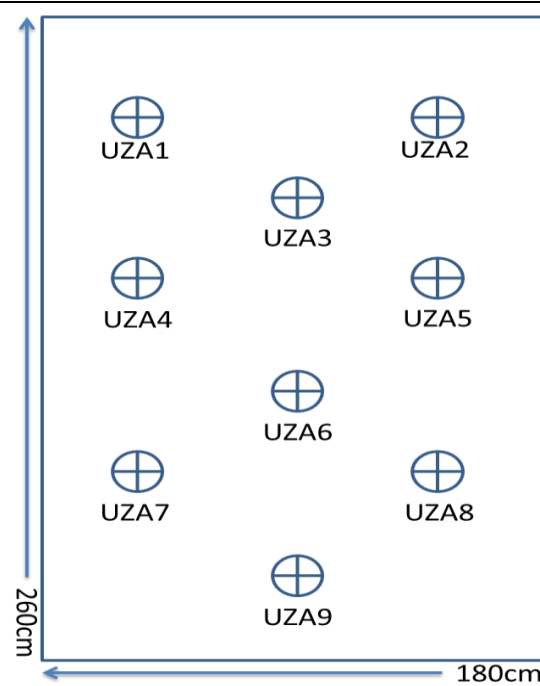


Abbildung 7: Schema der Bodenprobennahme auf der Testfläche

Das Problem hierbei ist, dass in der Natur selten Bedingungen vorherrschen die sowohl das Anlegen eines Schürfes sowie eine einwandfreie Probennahme im Zentimeterbereich selbst ermöglichen. Diese Methodik ist für einen großflächigen Einsatz im Feld nicht geeignet, da sie vergleichsweise aufwändig ist und bei schlechten Witterungsbedingungen nicht anwendbar ist. Die hohe vertikale Auflösung, mit der in die Tiefe beprobt werden muss, ist im Feld durch die Bewirtschaftung mit Maschinen und der daraus resultierenden inhomogenen Oberfläche nicht gegeben. Eine eindeutige Bestimmung der Tiefe, aus der die Proben genommen wurden, ist im Feld fast unmöglich und äußerst fehleranfällig. Die Auswertung der Proben der Testfläche im Labor hat gezeigt, dass eine Abnahme von organischem Kohlenstoff mit der Tiefe, aus der die Probe genommen wurde, gegeben ist. Siehe dazu Abbildungen 37 ff im Anhang.

1.6.2 Beprobung mittels Mikrostechzylinderhalterung

Um die Arbeitsschritte der Probennahme, gerade im Zentimeterbereich, zu vereinfachen und eine möglichst genaue und sichere Probennahme zu gewährleisten wurde eine Mikrostechzylinderhalterung angefertigt sowie getestet. Diese PVC-Röhrchen weisen einen Innendurchmesser von 1 Zentimeter auf und sind auf einer Halterung aus Sperrholz befestigt. Diese wurden in den jeweils ausgehobenen Schürf (siehe Abbildung 6), waagrecht mit Hilfe einer kleinen Wasserwaage so in die Testfläche eingeführt und wieder herausgezogen, dass das oberste Röhrchen mit Material aus dem obersten Bodenhorizont komplett aufgefüllt ist, so wie auch die darunter befindlichen Röhrchen den jeweiligen Horizont erfassen. Aus praktischen Gründen wurde der gleich

Schürf beprobt in dem auch die manuelle Probennahme stattfindet, nur auf der gegenüberliegenden Seite. Die in Abbildung 7 eingezeichneten Punkte der Probennahme sind auf der Testfläche ident.

Die standardisierten Stechzylinder ermöglichen Probennahmen über mehrere Zentimeter Boden in einem einzelnen Beprobungsvorgang. Dies hat den Vorteil, dass in kurzer Zeit sehr viele hochauflösende Proben genommen werden können. Der Einsatz dieser Methode ist auf einer vorbereiteten Fläche ohne Probleme möglich, auf einem bewirtschafteten Feld jedoch fehleranfällig. Auch bei diesen Proben hat sich bei der Auswertung im Labor gezeigt, dass eine Abnahme von organischem Kohlenstoff mit der Tiefe aus der die Probe genommen wurde nachgewiesen ist.

Bei beiden Methoden konnte mit einem einzelnen Beprobungsvorgang nur unzureichend Probenmaterial gewonnen werden um eine ÖNORM-konforme (ÖNORM L1080 und ÖNORM L1081) Bestimmung des Anteils von organischem Kohlenstoff im Labor mittels Veraschung durchzuführen. Die gewonnene Menge an Probenmaterial durch eine einzelne Beprobung ist allerdings bei allen Methoden groß genug um mittels Analysegerät (LECO RC612) eine Analytik durchzuführen (siehe dazu Kapitel 3.2.2).

2 Zielsetzung und Hypothesen

Berechnungen des Nährstoffverlustes, die sich auf die Ergebnisse von Modellierungen stützen, können den tatsächlich durch Winderosion erodierten Anteil an Nährstoffen falsch darstellen. Verwendet man das Wind Erosion Prediction System (WEPS) und berechnet die Bodenabtragsrate durch Winderosion, sieht das Modell keine Quantifizierung der ausgetragenen Bodennährstoffe vor sondern stellt nur den quantitativen Masseverlust dar. Möchte man mit diesen Ergebnissen den Verlust von Nährstoffen berechnen, muss deren vertikale Konzentration berücksichtigt werden. Eine Bodenprobennahme, die die Eigenschaften des zu untersuchenden Nährstoffes nicht berücksichtigt, ist eine potentielle Fehlerquelle.

Da die höchste Konzentration von organischem Kohlenstoff in den obersten Schichten des Oberbodens vorhanden ist, wird mit jedem Erosionsereignis der potentiell erodierbare Kohlenstoffpool geringer. Bodenproben werden im Normalfall als Mischproben aus den oberen 20cm Bodenhorizont genommen. Daraus ergibt sich, dass kohlenstoffreiche Schichten mit weniger kohlenstoffreichen Schichten vermischt werden und dadurch der Gesamtanteil an organischem Kohlenstoff in dem für Winderosion anfälligen Oberboden nicht korrekt dargestellt wird. Es ist daher notwendig, die genaue vertikale Verteilung von organischem Kohlenstoff im Boden zu analysieren.

Den Verlust von organischem Kohlenstoff durch Winderosion durch eine Schlussrechnung zu beantworten wäre also nicht korrekt, wenn nur Mischproben aus großen Volumen zur Berechnung

des Anteils an organischem Kohlenstoff herangezogen werden. Es gilt herauszufinden, welche Beziehung zwischen der Konzentration an organischem Kohlenstoff und dem Volumen aus dem die Probe des Oberbodens stammt, vorliegt.

Ziel dieser Masterarbeit ist es, die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff auf einer Versuchsfläche im Marchfeld in höchstmöglicher Auflösung darzustellen und die Unterschiede je nach Horizont darzustellen.

2.1 Fragestellungen

- Wie kann die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff im Oberboden gemessen werden und welche Methode der Bodenprobennahme eignet sich für den Feldeinsatz?
- Kann im Untersuchungsgebiet eine Abnahme der Konzentration von organischem Kohlenstoff mit der Tiefe nachgewiesen werden?
- Wie stark wird der im Oberboden befindliche Anteil an organischem Kohlenstoff je nach Volumen aus dem die Bodenprobe stammt über- beziehungsweise unterschätzt.

3 Untersuchungsgebiet

Auf der ausgewählten Fläche fanden im Jahr 2010 bereits Untersuchungen und Tests mit einem mobilen Windkanal der Universität Wien statt (Peticzka, 2010). Es ist naheliegend, dieses Areal erneut als Untersuchungsgebiet heranzuziehen, da bereits Untersuchungsergebnisse dieser Fläche aus den vorangegangenen Jahren vorliegen.

3.1 Lage

Das Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 8) befindet sich etwa 20 Kilometer nördlich von Wien im Marchfeld. Das Marchfeld selbst ist eine der landwirtschaftlich intensivsten genutzten Regionen Österreichs. Hier wurde eine landwirtschaftlich genutzte Fläche ausgewählt, die gut und leicht erreichbar ist. Die Unterstützung der Grundstückseigner ist gegeben. Das Untersuchungsgebiet ist topographisch eben. Im Umfeld der Testfläche befinden sich keine natürlichen Hindernisse oder Vegetation, die ein Windereignis abschwächen könnten.

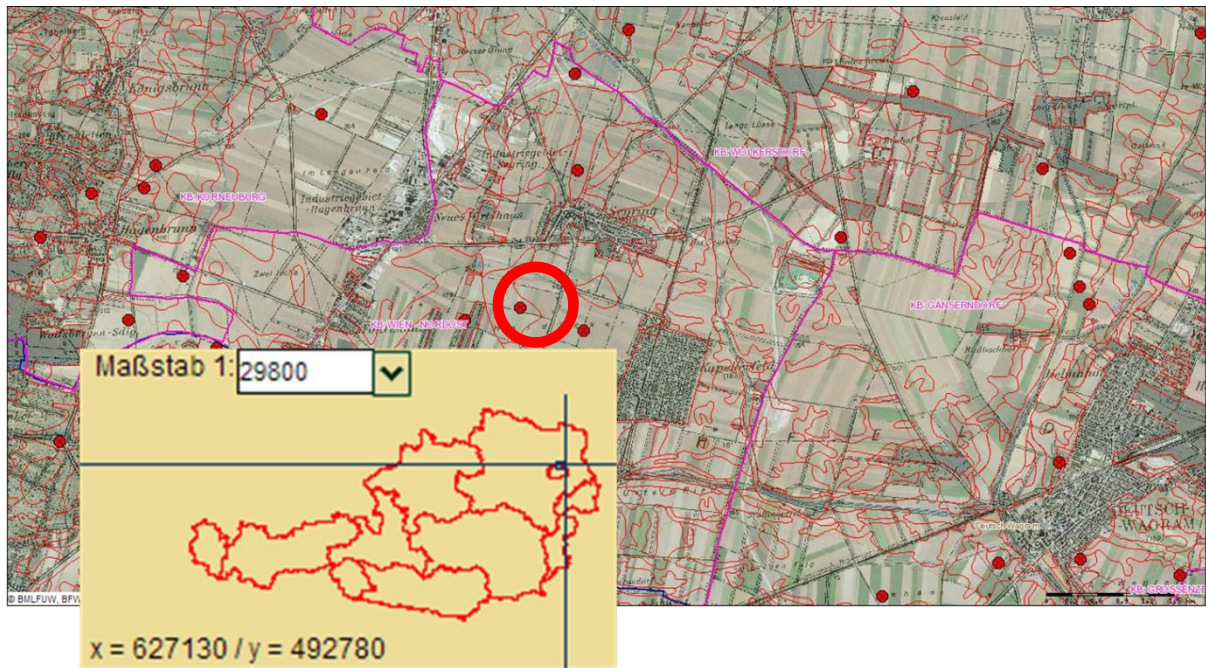


Abbildung 8: Lage des Untersuchungsgebietes nord-östlich von Wien (eBOD 2014)

3.2 Boden

In unmittelbarer Nähe zum Untersuchungsgebiet findet sich eine Profilstelle die in der elektronischen Bodenkarte des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft verzeichnet ist. Das Profilblatt ist in Abbildung 9 dargestellt. Der Bodentyp ist als kalkfreier Paratschernosem klassifiziert. Als Ausgangsmaterial findet sich Flugsand über Schotter. Die Erosionsgefahr durch Wind ist hier als mäßig eingestuft. Die Bodenart ist als lehmiger Sand bzw. sandiger Lehm definiert. Der Standort gilt als trocken bzw. sehr trocken, der Boden ist nur gering bis mäßig durchlässig (eBOD, Profil 38034 Blatt 41-4 N, 1970-1979; FAO, 2014)

Die Zusammensetzung der Korngrößen des Bodens der Testfläche wurde vor und nach einer Bewehrung im Jahr 2010 ermittelt (Peticzka, 2010). In Abbildung 10 ist der Mittelwert aus sieben Bodenproben der Testfläche vor und nach einer Bewehrung mit dem mobilen Windkanal gegenübergestellt. Die Bodenprobennahme fand bis zu einer maximalen Tiefe von 3mm statt. Deutlich ersichtlich ist der Verlust der Korngrößenfraktion 63-2000 µm (Sand). Der hohe Anteil an Sanden macht die Fläche potentiell anfällig für Winderosion.

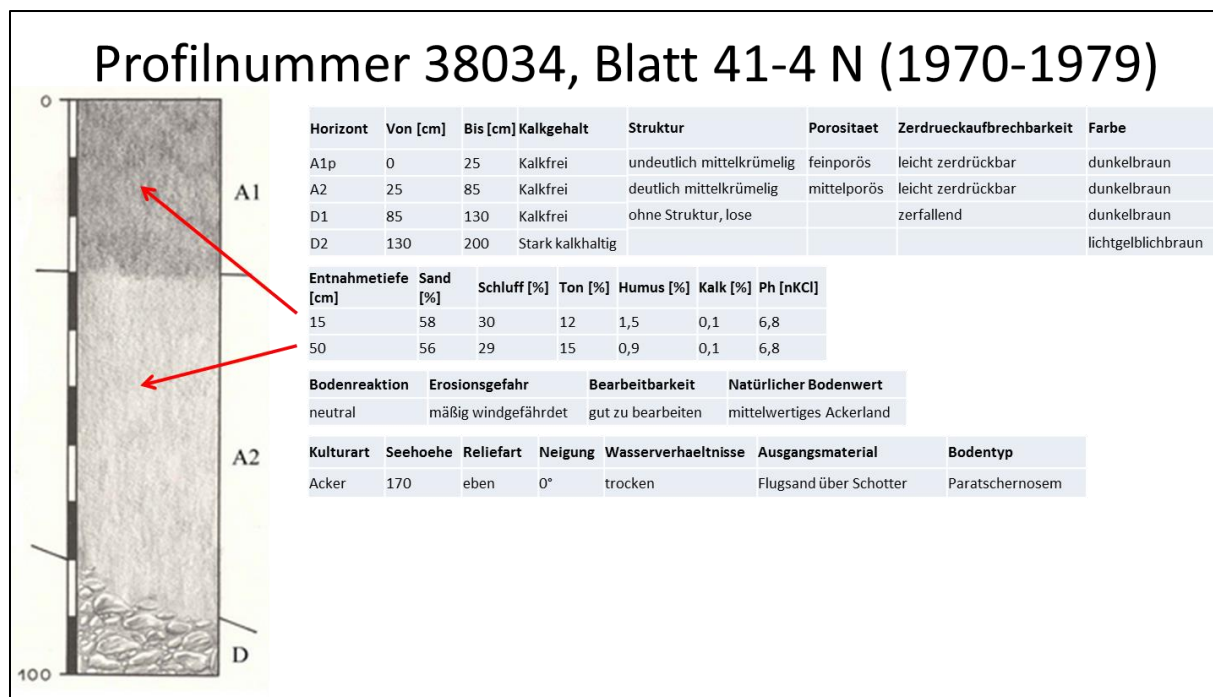


Abbildung 9: Bodenprofil nahe Seyring (eBod 2014)

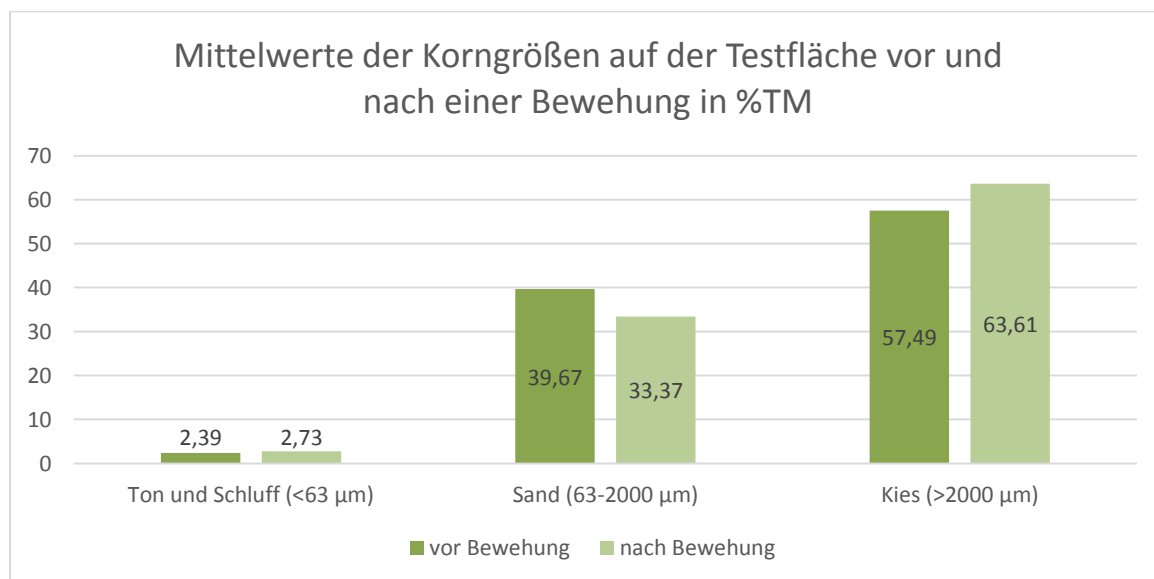


Abbildung 10: Vergleich der Mittelwerte der Korngröße auf der Testfläche vor und nach einer Bewehrung (nach Peticzka, 2010)

3.3 Klima

Klimatisch befindet sich die Testfläche in einer niederschlagsarmen Region Österreichs, die, gerade im Spätsommer und Herbst, auch für sehr starke Windereignisse bekannt ist. Dominant sind Windrichtungen aus West beziehungsweise Nord-West sowie Süd und Süd-Ost. Der Juli 2015 war der wärmste Juli der Messgeschichte und liegt österreichweit gesehen 3,1 °C über dem vieljährigen Mittel. Ebenso herrschte im Juli und August 2015 eine starke Trockenperiode vor, die nur zeitweise durch lokale Gewitter unterbrochen wurde (ZAMG, 2016). Als klimatische Referenz für das

Untersuchungsgebiet wurde die Station Gänserndorf/Stadt ausgewählt. Diese befindet sich etwa 18 Kilometer in Nord-östlicher Richtung. Die Werte für Lufttemperatur, Niederschlag und Wind beziehungsweise Windrichtung sind in Tabelle 2 für den Juli 2015 sowie das gesamte Jahr 2015 gegenübergestellt. Die Werte werden an der Messstation Gänserndorf Stadt drei Mal pro Tag gemessen.

Station Gänserndorf Stadt	Juli 2015	Jahr 2015
Lufttemperatur 07 MEZ	20,7 °C	9,4 °C
Lufttemperatur 14 MEZ	28,7 °C	15,3 °C
Lufttemperatur 19 MEZ	26,6 °C	12,6 °C
Mittelwert Lufttemperatur	23,7 °C	11,4 °C
Summe Niederschlag	31mm	437mm
Termine mit Windrichtung N	7	106
Termine mit Windrichtung NO	2	41
Termine mit Windrichtung O	3	75
Termine mit Windrichtung SO	10	227
Termine mit Windrichtung S	22	107
Termine mit Windrichtung SW	5	34
Termine mit Windrichtung W	28	231
Termine mit Windrichtung NW	15	258
Termine Windstille	1	16
Mittel Windgeschwindigkeit	2,7 m/s	3,1 m/s

Tabelle 3: Gegenüberstellung klimatischer Eckdaten für das Untersuchungsgebiet und das Jahr 2015

4 Methoden

4.1 Geländearbeit

Die Feldtests fanden auf einer dauerhaft landwirtschaftlich genutzten Fläche im Marchfeld statt. Das Feld war vor der Beprobung mit Mais bepflanzt. Nach der Ernte am 04. Juli 2015 wurde das noch restliche vorhandene pflanzliche Material mit einem Grubber in den Boden maschinell eingearbeitet. Im Jahr 2015 fand auf der Fläche keine Düngung mit mineralischem oder organischem Dünger statt. Zum Zeitpunkt der Probennahme lag das Feld als Schwarzbrache vor.

4.1.1 Vorbereitung der Testfläche

Beprobt wurde direkt auf der unvorbereiteten, gegrubberten Fläche. Auf die tatsächlichen Verhältnisse vor Ort musste möglichst Rücksicht genommen werden (z.B. aufliegendes Streu, Steine, Vertiefungen durch Fahrspuren, Verdichtung durch maschinelle Bearbeitung) um repräsentative, qualitativ möglichst gute Proben zu gewinnen.

4.1.2 Anordnung der Zellen auf der Testfläche

Die Auswahl und Anordnung der zu beprobenden Teilflächen wurde unter Berücksichtigung einer möglichst zufälligen Anordnung vorgenommen. Über die fünf Teilflächen mit jeweils 100m² wurde

ein Raster von 2x2 Meter gelegt. Der Mittelpunkt jeder dieser Zellen diene als Orientierungspunkt für den Einstechpunkt der Probe. Die Idee dahinter ist, dass jede dieser Zellen mit vier m² Fläche mindestens einen Punkt aufweist, an dem eine optimale Probennahme möglich sein sollte. Wie bei allen Methoden ist die Qualität der Probennahme maßgeblich von der Erfahrung und Zuverlässigkeit des Beprobenden abhängig. Die systematische Einteilung der Testflächen in Zellen hilft bei der Auswahl des Punktes der Probennahme selbst, da sowohl die erwünschte Einstechtiefe, als auch ein bestimmtes Areal von vier m², auf dem die Beprobung stattzufinden hat, bereits vordefiniert sind.

Jeder Zelle beziehungsweise jedem Raster wurde eine Zahl (ID) von 1 bis 25 zugewiesen. Dieser ID wurde dann mittels Würfelwurf auf einem 10-seitigen Würfel ein Wert zwischen 1 und 5 (1+2=1, 3+4=2, 5+6=3, 7+8=4, 9+10=5.) zugewiesen. In jeder Spalte und in jeder Reihe kommt somit jeder Wert nur einmal vor. Wenn ein Wert bereits vorhanden war so wurde erneut gewürfelt bis ein noch nicht zugewiesener Wert erwürfelt wurde. Dadurch konnte vermieden werden, dass durch eine systematisch falsche Anordnung der Probennahme ein in der statistischen Auswertung ersichtlicher Trend entsteht. Der so ermittelte Wert bestimmt die Einstechtiefe des Bohrstocks beziehungsweise die Tiefe, aus der das Material, vom Oberboden aus gemessen, aus dem Bohrstock entnommen wird.

gewürfelter Wert der Zelle	Einstechtiefe des Bohrstocks in Zentimeter
1	1,25
2	2,5
3	5
4	10
5	20

Tabelle 4: Wert einer Zelle auf der Testfläche und die dazugehörige Einstechtiefe des Bohrstocks

Es finden sich somit pro Teilfläche jeweils 25 zufällig zugewiesene Zellen deren Probenmaterial aus wieder fünf unterschiedlich mächtigen Horizonten in eine Mischprobe übergeführt wurde. Die aus diesem Versuchsaufbau gewonnen 125 Proben sind somit hinsichtlich der Mächtigkeit aus der sie gewonnen wurden sowie der genauen Lage auf den Testflächen unabhängig voneinander. In Abbildung 11 ist der Versuchsaufbau schematisch dargestellt.

Versuchsaufbau 1				
1	2	3	5	4
1	3	2	5	4
4	5	3	1	2
4	2	5	1	3
5	2	4	1	3
Versuchsaufbau 4				
4	2	3	1	5
3	4	5	1	2
1	3	4	5	2
3	1	2	4	5
5	3	4	1	2

Versuchsaufbau 2				
4	1	2	3	5
1	4	5	2	3
5	2	3	1	4
1	3	4	2	5
1	5	2	4	3
Versuchsaufbau 5				
3	2	4	5	1
1	2	4	3	5
2	5	4	1	3
1	5	2	4	3
1	3	2	5	4

Versuchsaufbau 3				
2	4	3	5	1
1	5	4	3	2
2	1	3	5	4
5	1	2	3	4
1	4	5	3	2
Farberklärung				
1	0 - 1,25cm			
2	0 - 2,5cm			
3	0 - 5cm			
4	0 - 10cm			
5	0 - 20cm			

Abbildung 11: Versuchsaufbau innerhalb des Untersuchungsgebietes (eigene Darstellung)

Die Probenahme selbst wurde am 11. Juli und 12. Juli 2015 vorgenommen. Die Bedingungen für eine Bodenprobenahme waren optimal. Die Lufttemperatur am 11. Juli betrug 26 Grad, am 12. Juli 32 Grad, jeweils um 12:00 Uhr Mittag vor Ort gemessen. Die Proben wurden an beiden Tagen zwischen 08:00 und 12:00 beziehungsweise 13:00 und 16:00 Uhr genommen. An beiden Tagen war der Himmel wolkenlos, es wehte kein Wind. Zudem fiel seit der Ernte kein Niederschlag.

4.1.3 Bodenprobenahme

Berücksichtigt wurde die Art der Bodenprobenahme sowie der dafür notwendigen Ausrüstung und ihrer Feldtauglichkeit. Ebenso wurde die Aufbereitung der Proben sowie der Auswertung dieser im Labor und den damit verbundenen Materialanforderungen berücksichtigt.

Es ist notwendig, eine Stichprobe zu erhalten, die groß genug ist, um auf den durchschnittlichen Anteil an organischem Kohlenstoff im Boden schließen zu können. Die Stichprobe muss auch hinsichtlich der weiteren Analyse im Labor alle qualitativen Voraussetzungen erfüllen, die notwendig sind, um eine korrekte Analyse durchführen zu können.

Die vertikale Verteilung der organischen Substanz innerhalb des Bodenhorizontes sollte bei den Feldtests möglichst genau erfasst werden, um den Verlust dieser durch Winderosion besser bestimmen zu können. Besonders an der Bodenoberfläche beziehungsweise in oberflächennahen, potentiell betroffenen Bereichen ist eine möglichst genaue Messmethode zu wählen um den tatsächlichen Verlust durch Winderosion beziehungsweise das potentiell erodierbare Material bestimmen zu können.

Die in Kapitel 1.6 beschriebenen Methoden der Probennahme sind mit einem Unsicherheitsfaktor behaftet. Beide Methoden (Mikrostechzylinder, Schürf) haben sich als zu ungenau beziehungsweise wenig feldtauglich erwiesen. Die Bodenprobennahme mittels Stechzylinder ist auf der eigentlichen Testfläche im Marchfeld aufgrund der Bodenbeschaffenheit nicht möglich, da keine ausreichende Genauigkeit hinsichtlich der vertikalen Auflösung erzielt werden kann und auch das Anlegen eines Schürfes problematisch ist. Eine genaue Bestimmung im Zentimeterbereich ist daher nicht fehlerfrei durchführbar. Die genaue Tiefe, aus der das Material genommen wurde ist zwar prinzipiell messbar, praktisch jedoch relativ fehleranfällig, zumal unter verschiedenen Bedingungen gearbeitet wird und nicht immer optimal gemessen werden kann. Die bearbeitete, unebene Bodenoberfläche erschwert die Probennahme auf diese Weise ungemein.

Die Probennahme im Zentimeterbereich kann bereits Auswirkungen auf die Laborergebnisse verursachen. Daher wurde eine Methodik gewählt, die in der Lage ist, sowohl hochgenaue Probennahmen zu ermöglichen, als auch technisch durchführbar ist, und auch bei wiederholter Probennahme auf der gleichen Testfläche keine besondere Handhabung erfordert.

Die Methodik der Bodenprobennahme muss in Bezug auf die Fragestellung also in der Lage sein

- die vertikale Verteilung
- möglichst hochauflösend

von organischem Kohlenstoff in den Bodenproben ohne Beeinflussung der Ergebnisse durch die Probennahme selber zu ermöglichen.

Es wurde entschieden auf eine zentimetergenaue Beprobung verzichtet und stattdessen Mischproben aus unterschiedlichen, vorher definierten Volumen beziehungsweise Einstechtiefen zu erzeugen. Anstatt Mikrostechzylinder oder Stechzylinder zu verwenden oder offene Schürfe anzulegen um Probenmaterial zu gewinnen, wurde ein Bohrstock (nach Dr. Pürckhauer) verwendet. Nach der Beprobung kann mit einem Zentimeterstock im halb offenen Bohrkern von der Bodenoberfläche weg die Tiefe (beziehungsweise das Volumen) gemessen werden. Das nicht im zu untersuchenden Horizont befindliche Material wird aus dem Bohrkern entfernt, der Rest in Probensäcke überführt. Auf diese Weise können in kurzer Zeit sehr viele Proben genommen werden.

Folglich kann keine zentimetergenaue Information über die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff ermittelt werden, eine zentimetergenaue Abfolge ist nicht darstellbar. Aus diesem Grund wird die Einstechtiefe des Bohrstocks beziehungsweise das Volumen, aus dem die Proben genommen werden, in fünf Klassen (0-1,25cm; 0-2,5cm; 0-5cm; 0-10cm; 0-20cm) eingeteilt. Diese Einteilung leitet sich aus der gängigen Praxis, die obersten 20cm Boden zu beproben, her ab. Dieser Wert wird

jeweils halbiert bis es de facto bei einer Tiefe von 1,25cm nicht mehr möglich ist, mit einer einzelnen Beprobung genug Probenmaterial für eine Analyse im Labor zu erhalten. Die ermittelten Werte aus den Mischproben spiegeln demnach den Anteil an organischem Kohlenstoff in einer Tiefe von 0,625cm; 1,25cm; 2,5cm; 5cm und 10cm wieder.

4.2 Labormethoden

4.2.1 trockene Veraschung

Bei allen Probennahmen die in Kapitel 1.6.1 und 1.6.2 beschrieben wurden, wurde mittels trockener Veraschung der Anteil an organischem Kohlenstoff ermittelt. Bei dieser Methode ist eine Probenmenge von knapp 20g Feinerde laut ÖNORM L 1079 vorgeschrieben - wobei je nach geschätztem Anteil an Organik auch weniger Material zulässig ist. Geht man von einem hohen Anteil an organischem Material aus, so reichen in der Regel schon etwa 5g Material aus, bei einem geringen Anteil an organischem Material die vorgeschriebenen 10g.

Das Probenmaterial wird über einen Zeitraum von 24 Stunden bei 105 Grad absolut im Ofen getrocknet und danach in einem Mörser manuell zerkleinert. Das aufbereitete Probenmaterial wurde abgewogen, in vorgeglühte, ebenso genau abgewogene Metallbehälter überführt und dann im Muffelofen bei 550 Grad 120 Minuten erhitzt. Danach wurden die Metallbehälter aus dem Ofen zum Abkühlen für 60 Minuten in einen Exsikkator gegeben und wiederum erneut abgewogen. Der hierbei gemessene Gewichtsverlust aus dem Gewicht von Probe + Metallbehälter vor und nach dem Glühverlust bestimmt den Anteil an organischer Substanz in der Probe.

Die Formel hierzu lautet: $GV = ((md - mg) / md) * 100$

GV bezeichnet den Glühverlust in % der Trockenmasse, md die Masse der bei 105 Grad getrockneten Einwaage in Gramm und mg die Masse der geglühten Probe. Da bei der ausgewählten Art der Bodenprobennahme nicht genug Material aus jeder Einstechtiefe gewonnen werden kann um einheitlich jede Probe nach dieser Methode zu analysieren, wird für die Analyse der Bodenproben aus dem Untersuchungsgebiet ein Kohlenstoff-Wasser-Analysator verwendet.

4.2.2 LECO Kohlenstoff-Wasser-Analysator RC612

Im Gegensatz zur trockenen Veraschung ist es bei dieser Methode nicht notwendig das Probenmaterial absolut zu trocknen, das bedeutet, eine luftgetrocknete Probe reicht aus. Die Proben wurden über einen Zeitraum von 48 Stunden bei 35 Grad im Ofen getrocknet. Da das Analysegerät (LECO RC 612) sehr sensibel ist und bei inkonsistenter oder unzureichender Zerkleinerung des Probenmaterials die Ergebnisse verfälscht werden können, wurden die Proben mit einer Schwingmühle zerkleinert (Retsch Schwingmühle MM 800). Dies führt im Gegensatz zu einer manuellen Zerkleinerung des Materials zu einem deutlich homogenen Ergebnis. Etwa 2g

Probenmaterial wurde in die verschraubbaren Metallgehäuse eingefüllt und über einen Zeitraum von 320 Sekunden zerkleinert. Bei der Rückführung in die Probenbehälter musste darauf geachtet werden, dass das zerkleinerte Material nicht verunreinigt wird.

Das aufbereitete Probenmaterial wurde in Keramikscheffchen überführt und bei 550 Grad für 600 Sekunden im LECO erhitzt. Der bei dieser Temperatur freigesetzte organische Kohlenstoff oxidiert mit dem in den Verbrennungsofen eingeblasenen Sauerstoff und wird in Form von CO_2 gemessen. Die Umrechnung selbst nimmt das Gerät vor. Die Ergebnisse wurden digital gespeichert und sind in Tabelle 3 mit der jeweiligen Proben-ID und dem dazugehörigen Testaufbau aufgelistet.

4.3 Statistische Methoden

Alle erhobenen Daten wurden in Microsoft Excel 2010 sowie NCSS 11.1 importiert um eine statistische Auswertung vorzunehmen sowie eine grafische Darstellung zu ermöglichen. Die Datensätze der jeweiligen Versuchsaufbauten sind als X2000_All (0-20cm), X1000_All (0-10cm), X500_All (0-5cm), X250_All (0-2,5cm) sowie X125_All (0-1,25cm) in den jeweiligen Abbildungen benannt.

In einem ersten Interpretationsschritt wurden alle Ergebnisse der jeweiligen Versuchsaufbauten in einem Boxplot grafisch dargestellt um eventuelle Extremwerte zu identifizieren. Alle ermittelten Ergebnisse der Versuchsaufbauten wurden daraufhin auf eine Normalverteilung getestet. Dadurch soll herausgefunden werden, ob die laut Box-Plot ersichtlichen Extremwerte Teil der Normalverteilung sind. Hierfür wurden das Kolmogorov-Smirnov sowie das Shapiro-Wilk Verfahren angewandt.

Es sollte sich zeigen, dass Proben aus dem Oberboden im Gegensatz zu Proben aus darunterliegenden Schichten einen höheren Anteil an organischem Kohlenstoff aufweisen. Ebenso sollte die Standardabweichung der jeweiligen Volumina verglichen werden, da zu erwarten ist, dass diese bei Probenmaterial aus den oberen, kohlenstoffreicheren Schichten deutlich höher ausfällt als bei jenen aus tieferen Schichten, die mit mehr Bodenmaterial durchmischt wurden.

5 Ergebnisse

In Abbildung 12 ist der Boxplot zu den ermittelten Ergebnissen der Feldtests dargestellt. Man kann erkennen, dass in Versuchsaufbau 1 (X125_ALL) und 5 (X2000_ALL) Extremwerte vorhanden sind.

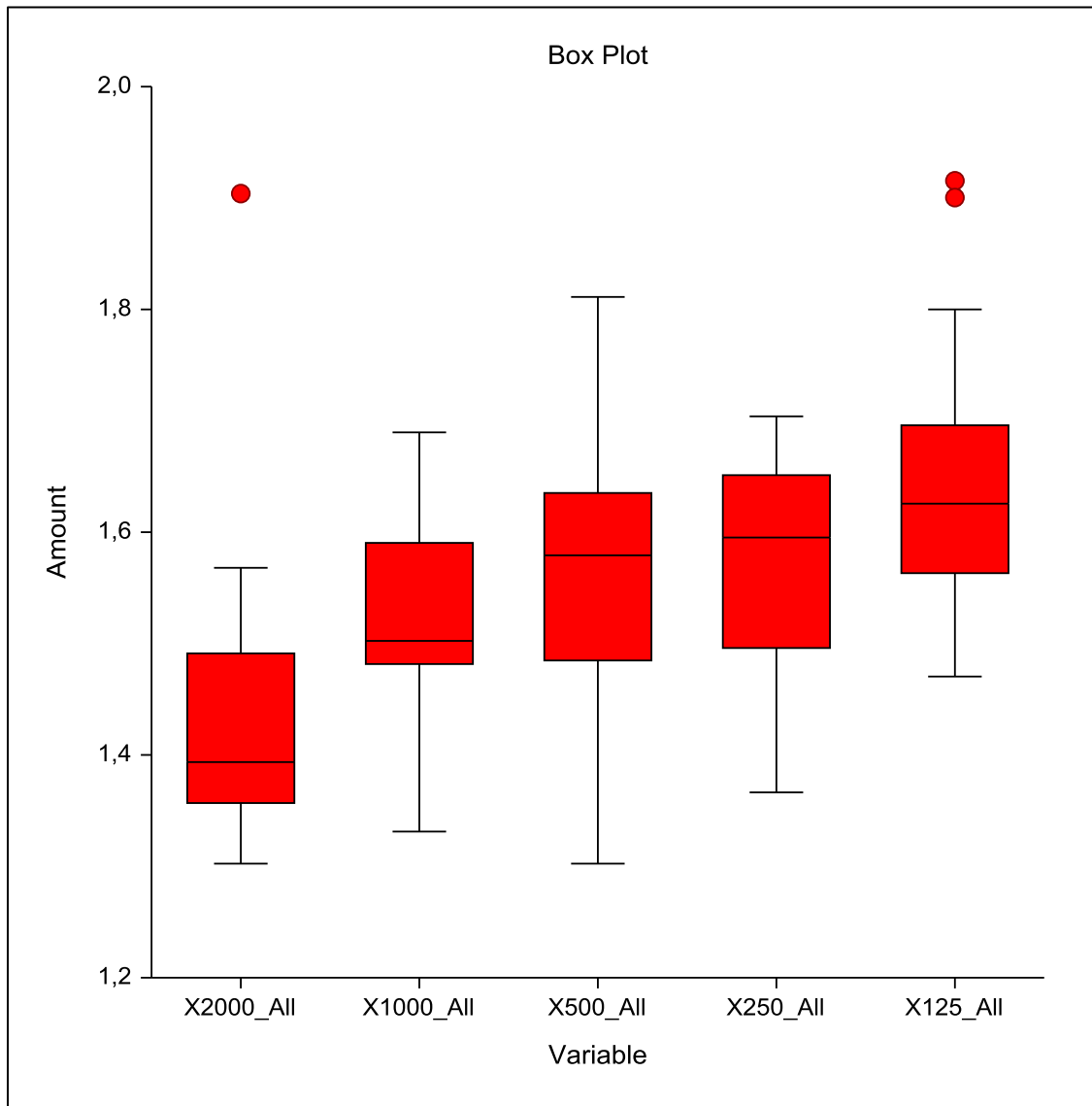


Abbildung 12: Boxplot der ermittelten Ergebnisse der Bodenproben aus dem Feld

Bei allen Datensätzen ist trotz der ersichtlichen Extremwerte eine Normalverteilung nach Kolmogorov-Smirnov nicht auszuschließen. Ein Test nach Shapiro-Wilk zeigt, bis auf den Datensatz des Versuchsaufbaus 5 (X2000_All), dasselbe Ergebnis. Eine mögliche Erklärung für den Extremwert im Datensatz X2000_All könnte, trotz größtmöglicher Vorsicht bei der Probenaufbereitung, eine Verunreinigung der Probe sein. Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass es sich hierbei einfach um eine einzelne Probe handelt, die tatsächlich einen vergleichsweise extrem hohen Anteil an organischem Kohlenstoff aufweist.

Test auf Normalverteilung	Versuchsaufbau 1 (0-1,25cm) X125_ALL	Versuchsaufbau 2 (0-2,5cm) X250_ALL	Versuchsaufbau 3 (0-5cm) X500_ALL	Versuchsaufbau 4 (0-10cm) X1000_ALL	Versuchsaufbau 5 (0-20cm) X2000_ALL
Kolmogorov-Smirnov	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Saphiro-Wilk	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein

Tabelle 5: Test auf Normalverteilung gesamter Datensatz

Entfernt man den Extremwert aus dem Datensatz X2000_ALL, sowie auch die Maximalwerte der anderen Versuchsaufbauten so bestätigen beide Tests (Kolmogorov-Smirnov und Saphiro-Wilk) eine Normalverteilung. Die so erzeugten Datensätze sind als X2000_sel (0-20cm), X1000_sel (0-10cm), X500_sel (0-5cm), X250_sel (0-2,5cm) sowie X125_sel (0-1,25cm) in den Abbildungen gekennzeichnet.

Test auf Normalverteilung	Versuchsaufbau 1 (0-1,25cm) X125_sel	Versuchsaufbau 2 (0-2,5cm) X250_sel	Versuchsaufbau 3 (0-5cm) X500_sel	Versuchsaufbau 4 (0-10cm) X1000_sel	Versuchsaufbau 5 (0-20cm) X2000_sel
Kolmogorov-Smirnov	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Saphiro-Wilk	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Tabelle 6: Test auf Normalverteilung ohne Extremwerte

Zur besseren Nachvollziehbarkeit sind in den Abbildungen (Abbildungen 17 bis 36 im Anhang) jeweils die Ergebnisse des gesamten Datensatzes als auch die der Ergebnisse des reduzierten Datensatzes (ohne Extremwerte) gegenübergestellt. Im Histogramm findet sich rot eingezeichnet die Kurve einer Normalverteilung, grün eingezeichnet die Kurve der errechneten Verteilung.

Gut ersichtlich ist in diesen Gegenüberstellungen, dass sich durch Eliminierung der Extremwerte die berechneten Verteilungsfunktionen deutlich besser einer Normalverteilung anpassen. Der aufbereitete Datensatz ist von den Extremwerten bereinigt und weist eine Normalverteilung auf. Eine vergleichende Darstellung der Mittelwerte beziehungsweise des Medians ist nun möglich, um eine Unterschätzung des Anteils an organischem Kohlenstoff je nach Volumen zu ermitteln.

5.1 vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff

In Abbildung 13 sind der Median und Mittelwert sowohl des gesamten, als auch des von Extremwerten bereinigten Datensatzes gegenübergestellt und nach Probenvolumen dargestellt. Es zeigt sich in allen Fällen, dass mit zunehmendem Volumen aus dem die Probe genommen wurde der Anteil an organischem Kohlenstoff abnimmt.

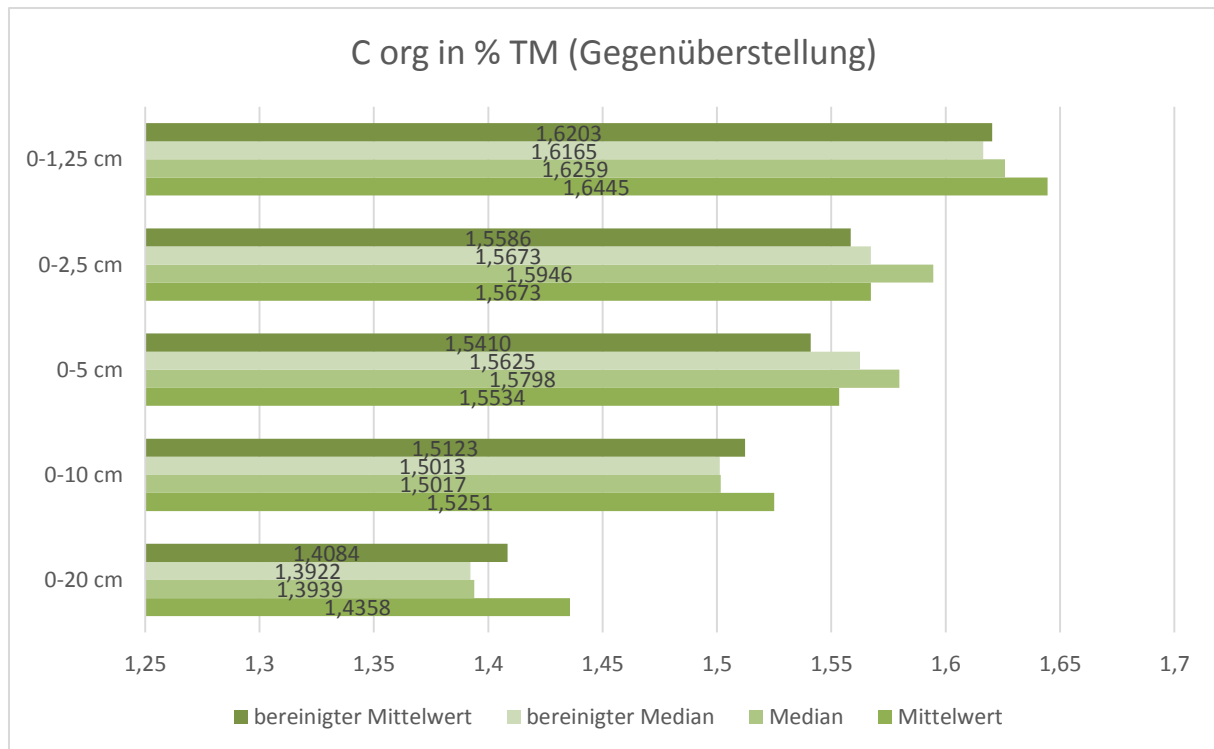


Abbildung 13: Gegenüberstellung des Anteils an organischem Kohlenstoff in %TM je nach verwendeter Kenngröße

Unabhängig vom Volumen aus dem die Proben gezogen wurden ergeben sich Werte für organischen Kohlenstoff zwischen 1,3022 % TM (Mischprobe 0-20cm) und 1,9155 % TM (Mischprobe 0-1,25cm) beziehungsweise im bereinigten Datensatz 1,9004 % TM. Es ist nicht unüblich diese Ergebnisse mit dem Faktor 1,72. beziehungsweise 2,0 zu multiplizieren um den gesamten organischen Anteil zu errechnen - für eine statistische Auswertung der Ergebnisse ist dies jedoch irrelevant.

Die prozentuale Veränderung der Konzentration von organischem Kohlenstoff gegenüber den obersten 1,25cm Boden ist in Abbildung 14 dargestellt.

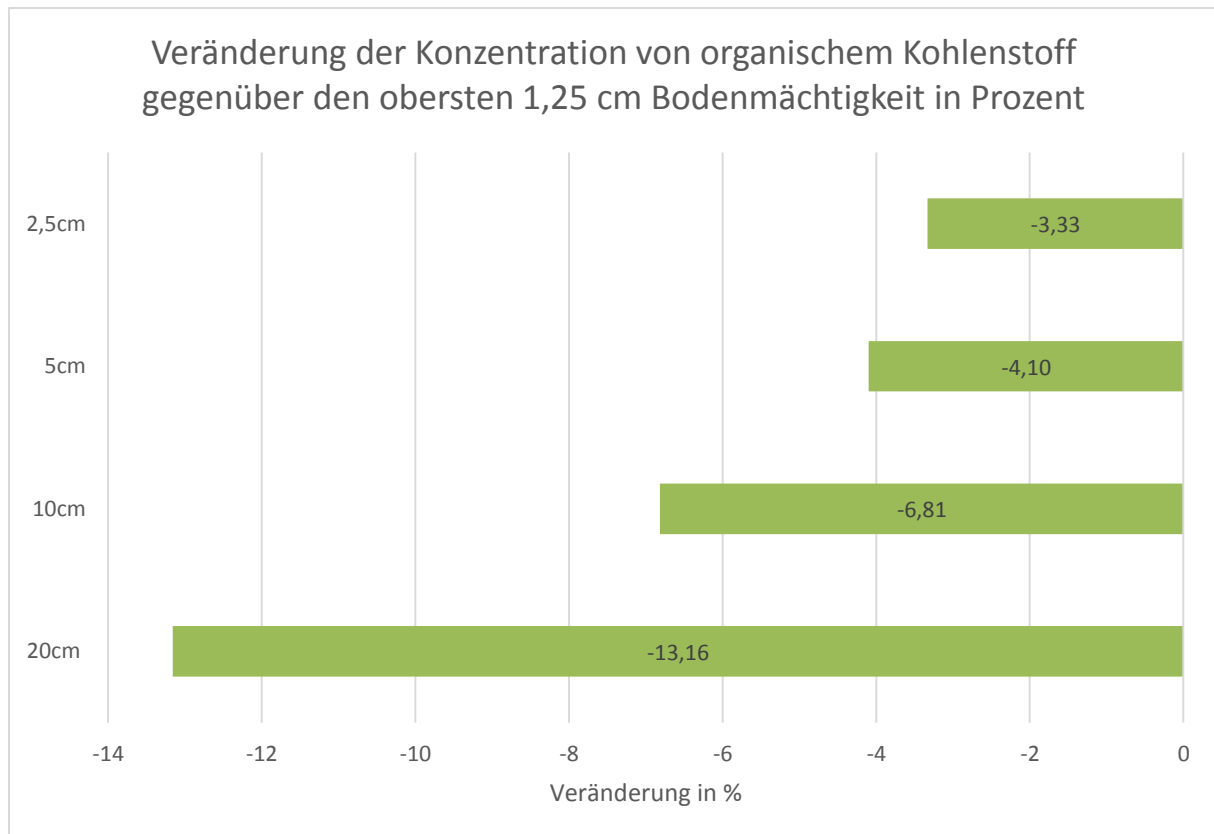


Abbildung 14: Veränderung der Konzentration von organischem Kohlenstoff

Die Ergebnisse zeigen, dass mit zunehmendem Volumen, aus dem die Bodenproben genommen wurden, eine Abnahme der Konzentration von organischem Kohlenstoff gegeben ist. Das bedeutet, dass auf der beprobten Fläche alleine durch das Volumen der Proben Unterschiede in der Messung der Konzentration von organischem Kohlenstoff von bis zu 13% nachgewiesen werden können. Mit zunehmendem Volumen, aus dem die Probe stammt wird, die ermittelte Veränderung des Anteils an organischem Kohlenstoff gegenüber dem obersten Bodenhorizont deutlicher. Die in Kapitel 1.2.1 angeführten theoretischen Grundlagen hinsichtlich der vertikalen Verteilung von organischem Kohlenstoff wurden anhand der Laborergebnisse der Bodenproben aus diesem Test mehrfach bestätigt.

Die statistische Auswertung der Bodenproben und der Normalwahrscheinlichkeitsdiagramme zeigen, dass Bodenproben aus derselben Einstechtiefe eine homogene Konzentration des Anteils an organischem Kohlenstoff aufweisen. Die Beseitigung der als Extremwert identifizierten Ausreißer aus dem Datensatz erzeugt, je nach Bodenhorizont, unterschiedliche Effekte.

Bei jenen Bodenproben, die aus einer Einstechtiefe von 1,25cm, 2,5cm, 5cm und 10cm genommen wurden, führt dies dazu, dass die Verteilungsfunktion der Werte sich wesentlich besser einer Normalverteilung angleichen. Bei jenen aus einer Einstechtiefe von 20cm hat dies einen anderen Effekt. Die Verteilungsfunktion ist vor Eliminierung der Extremwerte nicht normalverteilt, rein

optisch sieht dies jedoch so aus. Nach der Eliminierung der Extremwerte weist die Verteilungsfunktion offensichtlich zwei Höcker auf und man könnte annehmen, dass es sich nun nicht mehr um eine normalverteilte Funktion handelt, das Gegenteil ist aber der Fall.

Wie in Kapitel 1.2.1 beschrieben konnte auch auf der Testfläche nachgewiesen werden, dass mit zunehmender Tiefe die Konzentration von organischem Kohlenstoff abnimmt. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass in den oberflächennahen, für Winderosion anfälligen Bodenschichten, sich die höchste Konzentration von organischem Kohlenstoff befindet, ebenso, dass sich hier sowohl relativ als auch absolut der größte Anteil an organischem Kohlenstoff im Vergleich zum gesamten Kohlenstoffpool im Boden befindet.

6 Diskussion

Werden kohlenstoffreiche, oberflächennahe Schichten durch Winderosion abgetragen, geht damit auch ein Verlust des in diesen Schichten gebundenen organischen Kohlenstoffs einher. Die Auswirkungen dieses potentiellen Verlustes bzw. Abtransportes sollen in den folgenden Kapiteln diskutiert werden.

6.1 Winderosion und Klima

Gregorich et. al (1998) untersuchten den Zusammenhang zwischen dem Verlust von organischem Material und Bodenerosion sowie der räumlichen Verteilung des erodierten Materials. Der Verlust von Bodenmaterial hängt direkt mit dem Verlust von organischem Material zusammen. Die Autoren nennen zwei spezifische Effekte, die in diesem Kontext besonders zu beachten sind. Einerseits werden durch Erosionsprozesse große Mengen an organischem Kohlenstoff verlagert – zum Beispiel entlang einer Toposequenz oder eines Feldes – aber auch über deutlich größere Distanzen wie es bei Winderosionsereignissen vorkommen kann. Zum anderen wird durch Erosion bzw. die Ablagerung von erodiertem Material die Mineralisierung von organischem Kohlenstoff sowohl am Ort des Abtransportes als auch am Ort der Ablagerung beeinflusst. Die Mineralisierung von organischem Kohlenstoff ist dahingehend relevant, als dass es zu einer Einlagerung von Kohlenstoff in den Boden kommt und dieser darin gebunden wird. Durch die Mineralisierung kann somit weniger Kohlenstoff aus dem Boden in die Atmosphäre emittiert werden (Stark et. al. 2007, Jobbagy et. al. 2000).

Eine weitere Erkenntnis ist, dass Böden an jenen Standorten, an denen bereits durch Wind transportiertes Bodenmaterial abgelagert wurde, einen deutlich höheren Anteil an organischem Kohlenstoff in labilen, leicht zu erodierenden Aggregaten bzw. Fraktionen aufweisen. Ein erneuter Transport des abgelagerten Materials durch Winderosion ist an diesen Standorten möglich. Die dort stattfindende extensive Ablagerung von durch Winderosion mobilisiertem Material kann auch dazu führen, dass sich größere Mengen an Kohlenstoff im Boden einlagern. Dies verdeutlicht, dass der

Verlust bzw. die Auswehung und Abtransport von organischem Kohlenstoff durch Winderosion auch für Fragestellungen in Bezug auf den Kohlenstoffhaushalt bzw. Kohlenstoffsequestrierung von Relevanz ist.

Blume et. al. (2010) stellten fest, dass Böden Kohlenstoff in Form von CO₂ bzw. CH₄ speichern. Beide chemische Verbindungen sind in Hinblick auf mögliche Klimaänderungen besonders relevant. Ebenso wurde von den Autoren ausgearbeitet, dass Evapotranspiration aus dem Boden in Hinblick auf die Trockenheit von Böden problematisch ist. Wind erhöht die Verdunstung und führt zu Trockenheit und in weiterer Folge zu einer erhöhten Anfälligkeit gegenüber Erosion generell, im speziellen Winderosion. Das Anlegen von Windschutzanlagen sowie eine bodenkonservierende Wirtschaftsweise können nicht nur die Wasserhaltekapazität von Böden langfristig erhalten bzw. sogar verbessern, sondern auch die potentielle Evapotranspiration des Bodens selbst positiv beeinflussen. Durch das Anlegen von Windschutzanlagen ist die Oberfläche des Bodens in geringerem Maße von Wind beeinflusst. Durch die verminderte Verdunstung von Wasser aus dem Boden ist dieser weniger anfällig für Winderosion, in weiterer Folge wird weniger Kohlenstoff ausgeweht bzw. kann mehr Kohlenstoff im Boden mineralisiert werden.

In Hinblick auf Modellierungen zu Klimaveränderungen sollte berücksichtigt werden, dass größere Mengen an organischem Kohlenstoff mobilisiert werden könnten als angenommen. Ebenso muss darauf hingewiesen werden, dass organischer Kohlenstoff bzw. organisches Material über extrem große Distanzen transportiert werden kann (Blume et. al. 2010, Gregorich et. al. 1998).

Wiesmeier et. al. (2016) untersuchen einen möglichen Zusammenhang zwischen Klimaveränderungen und dem Verlust von organischem Kohlenstoff im Boden. In drei unterschiedlichen Modellszenarien (kein zusätzlicher Input an organischem Kohlenstoff, 20% weniger Kohlenstoffinput sowie 20% mehr Input an organischem Kohlenstoff – z.B.: durch Düngung) wird eine mittlere Temperaturzunahme von 3.3°C bis 2095 zu Grunde gelegt. In allen Szenarien hat sich gezeigt, dass der Anteil von organischem Kohlenstoff abnimmt. Interessanterweise wird sogar im optimistischen Szenario (20% mehr Input an organischem Kohlenstoff) eine Abnahme von bis zu 3-8% modelliert. Will man den Anteil an organischem Kohlenstoff im Boden über den von ihnen betrachteten Zeitraum erhalten, so ist ein zusätzlicher Input von 29% an organischem Kohlenstoff notwendig. Vor dem Hintergrund dieses Szenarios stellt die damit einhergehende höhere potentielle Evapotranspiration von Böden und die dadurch bedingte höhere Anfälligkeit gegenüber Winderosion, begleitet von einem zusätzlichen Verlust von organischem Kohlenstoff, besonders für die landwirtschaftliche Produktion ein Problem dar.

Im Untersuchungsgebiet findet sich als Ausgangsmaterial Flugsand über Schotter. Hier hat bereits eine Ablagerung von Sedimenten durch Winderosion stattgefunden, bevor sich ein Paratschernosem auf der Fläche bilden konnte, das abgelagerte Material (Flugsand) ist de facto kohlenstofffrei. Berücksichtigt man die Ergebnisse aus den Feldtests hinsichtlich der vertikalen Konzentration von organischem Kohlenstoff kann man annehmen, dass durch eine Auswehung von organischem Material in jenem Zeitraum, wo das Feld als Schwarzbrache ohne Bewuchs freiliegt, eine Degradierung des Bodens bzw. eine Abnahme des Kohlenstoffpools möglich ist.

6.2 Modellierung des Anteils an organischem Kohlenstoff im Boden

Aldana-Jague et. al. (2016) haben ein hochauflösendes Modell zur Bestimmung des organischen Kohlenstoffs im Boden ausgearbeitet. Dies war nötig, da in bestehenden Datenbanken die räumliche (sowohl vertikale als auch horizontale) Variabilität nicht genau genug dargestellt wird. Die Autoren merken an, dass in den meisten Studien nur die obersten 30cm des Bodens als Mischprobe beprobt werden und dies unzureichend genau ist. Ebenso wird betont, dass auf landwirtschaftlich genutzten Böden Veränderungen im Kohlenstoffpool des Bodens (durch die landwirtschaftliche Nutzung selbst) bedingt durch klimatische Veränderungen oder auch Verlagerungsprozessen von Bodenmaterial undeutlich ausgearbeitet werden können. Auch wurde festgestellt, dass das Modell aufgrund der hohen Variabilität der Daten aus den Bodenproben anfällig für eine Über- bzw. Unterschätzung ist. Dies resultiert aus der nur geringen Anzahl an Bodenproben aus Bohrkernen (123) die aus Tiefen von 0-20cm, 20-40cm und 40-60cm genommen wurden. Das von den Autoren aufgestellte Modell beschreibt die Konzentration von im Boden gebundenen organischen Kohlenstoff wie folgt:

$$SOC(z) = SOC_0 + A_1z + A_2z^2 + A_3z^3$$

Hierbei gilt: $SOC(z)$ ist der modellierte SOC-Anteil in einer Tiefe z . SOC_0 der Anteil an organischem Kohlenstoff an der Oberfläche, $A_1z + A_2z^2 + A_3z^3$ die Koeffizienten die die vertikale Konzentration beschreiben. Dieses Modell wurde verglichen mit einem exponentiellen Ansatz (Meersmann et. al. 2009).

$$SOC(z) = A \times e^{\alpha \cdot z} + SOC_{\infty}$$

Wobei hier gilt: $SOC(z)$ ist der modellierte SOC-Anteil in einer Tiefe z . SOC_{∞} der Anteil an organischem Kohlenstoff am unteren Ende des beprobten Profils, α eine Konstante die die Form der Kurve definiert und A berechnet sich aus der Differenz des Anteils an organischem Kohlenstoff an der Oberfläche (SOC_0) und dem unteren Ende des Bodenprofils (SOC_{∞}). Bei dieser Validierung hat sich gezeigt, dass das polynominale Modell genauer als das exponentielle Modell war.

	Polynomfunktion		Exponentialfunktion	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Minimum	0,61	0,24	0,30	0,37
1stes Quantil	0,64	0,24	0,39	0,38
Median	0,65	0,24	0,40	0,39
Mittelwert	0,65	0,24	0,40	0,39
3tes Quantil	0,66	0,24	0,40	0,39
Maximum	0,66	0,26	0,42	0,48

Tabelle 7: Gegenüberstellung Polynominalfunktion/Exponentialfunktion einer Modellierung (nach Aldana-Jague et. al. 2016)

Das Modell hat gezeigt, dass in den obersten 20cm Boden der Anteil von organischem Kohlenstoff zwischen 0,5 und 1 % liegt. Mit zunehmender Tiefe zeigt das Modell jedoch relative Unterschiede des Anteils an organischem Kohlenstoff von bis zu 200%. Bei der Analyse der die Koeffizienten kontrollierenden Faktoren die dem Modell zu Grunde liegen wurde festgestellt, dass die oberflächennahe Konzentration von organischem Kohlenstoff hauptsächlich durch Erosionsprozesse beeinflusst wird, die Koeffizienten des Modells selber, die das Kohlenstoffprofil beschreiben, vornehmlich durch die Krümmung und Steilheit, also der Topographie der Testfläche bestimmt sind. Eine polynomiale Funktion dritter Ordnung ist gut geeignet, ein vertikales Profil der Konzentration von organischem Kohlenstoff zu beschreiben. Auch bei den im Rahmen dieser Arbeit erhobenen Bodenproben wurde festgestellt, dass eine Funktion dritter Ordnung die ermittelte vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff der Mittelwerte der entsprechenden Horizonte am besten beschreibt. Bei einer linearen Funktion erreicht r^2 einen Wert von 0,9269, bei einer Funktion zweiter Ordnung ein r^2 von 0,9316 und bei einer Funktion dritter Ordnung ein r^2 von 0,9994 über einen Gesamthorizont von 0-20cm.

Ergebnisse aus Modellen, die den Masseverlust berechnen und in weiterer Folge zur Berechnung des Verlustes von organischem Kohlenstoff herangezogen werden, sind demnach kritisch zu hinterfragen. Es ist anzunehmen, dass diese den tatsächlichen Anteil von mobilisiertem organischem Kohlenstoff auf der untersuchten Fläche, wenn die Bodenproben aus einem großen Volumen genommen wurden, unterschätzen. Wie in Kapitel 5 aufgezeigt wurde, kann dies auf der untersuchten Fläche Unterschiede von bis zu 13% (0 bis 20cm Einstechtiefe gegenüber der Bodenoberfläche bis 1,25cm) ausmachen.

6.3 Anthropogene Nutzung

Der Verlust von organischem Material bzw. Kohlenstoff auf landwirtschaftlichen Nutzflächen durch Winderosion ist problematisch, da damit auch eine Verminderung der Fruchtbarkeit der Böden einhergehen kann. Der Verlust von organischem Material im Oberboden bewirkt auch Veränderungen im Bodenwärmehaushalt – berücksichtigt man die vertikale Konzentration von

organischem Kohlenstoff im Boden und den Austrag durch Winderosion - vermutlich stärker als angenommen.

Liu et. al (2006) haben den Einfluss von landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen auf den organischen Kohlenstoff im Boden untersucht. In diesem Zusammenhang weisen die Autoren auf die Rolle des Bodens sowohl als Kohlenstoffsенке, als auch als Kohlenstoffemittent hin. Landwirtschaftliche Nutzung bzw. Bodenbearbeitungsmaßnahmen können die Verteilung von organischem Kohlenstoff im Oberboden verändern bzw. sogar reduzieren. Im Gegensatz dazu kann eine gut ausgewählte Fruchtfolge diese negativen Effekte der Bewirtschaftung nicht nur ausgleichen, sondern ihnen sogar entgegenwirken und in weiterer Folge dazu führen, dass sich die Qualität des Bodens verbessert. Das Einarbeiten von Ernterückständen sowie die Düngung des Bodens kann den Anteil an organischem Material sowie die Menge an für Pflanzen zur Verfügung stehenden Nährstoffen erhöhen. Allerdings können diese Methoden für sich alleine nicht dazu beitragen, den landwirtschaftlich genutzten Boden in seiner Qualität zu erhalten bzw. zu stabilisieren. Konsequenterweise wird von den Autoren eine Kombination unterschiedlicher Maßnahmen genannt um langfristig Erfolge zu erzielen. Dazu gehören eine unterschiedliche Fruchtfolge, die Reduktion der Häufigkeit der Bodenbearbeitung sowie die Düngung mit chemischen Düngern sowie Stallmist und Jauche (Gattinger et. al. 2012)

Auf der Testfläche wird eine biologische, bodenkonservierende landwirtschaftliche Bewirtschaftung betrieben. Das hat zur Folge, dass zumindest der Einsatz von chemischen Düngemitteln nicht stattfindet. Wie auch in Kapitel 4.1 beschrieben, wurden auf der Fläche Ernterückstände in den Oberboden eingearbeitet. Auf einer intensiv landwirtschaftlich genutzten Fläche, wie es im Untersuchungsgebiet der Fall ist, sind diese Faktoren also zu berücksichtigen. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der Konzentration an organischem Kohlenstoff auf der Fläche vor bzw. nach der Bewirtschaftung zu erzielen müsste man diese vor der ersten Aussaat sowie nach der Ernte beproben. Dadurch wären Rückschlüsse auf die direkt vom Menschen beeinflussbare Konzentration von organischem Kohlenstoff im Boden durch die Bewirtschaftung und der angewandten Anbaumethoden möglich.

6.4 Windkanal und Simulation von Frost- und Tauperioden sowie Witterung

Experimente mit Windkanälen sind wichtig um Computermodelle die Winderosionsereignisse simulieren zu kalibrieren (Ries et. al 2014). In diesem Zusammenhang ist die Tatsache von Bedeutung, dass sich die Anfälligkeit gegenüber Winderosion von Böden durch eine Verminderung des organischen Materials drastisch ändern kann. Dieser Effekt ist in Windkanalexperimenten nur schwer nachzustellen, da das Bodenmaterial bzw. das für die Tests eingesetzte Substrat homogenisiert werden muss. Auch müsste die Konzentration an organischem Kohlenstoff im Vorfeld

genau festgelegt werden. Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse aus Windkanalexperimenten miteinander ist durch die unterschiedlichen Einstechtiefen bei der Bodenprobennahme und den verschiedenen Ausführungen der gebauten Windkanäle nur sehr eingeschränkt gegeben. Windkanäle, besonders jene die in kontrollierbarer Umgebung stehen, sind jedoch für die Erforschung des Zusammenspiels aus Klima und Winderosion von großem Interesse und liefern wichtige Ergebnisse.

Der Einfluss eines jahreszeitlichen Wechsels von gefrorenem und nicht gefrorenem Boden auf den Anteil an organischem Kohlenstoff im Boden sowie einem möglichen Verlust von organischem Kohlenstoff wurde von Matzner et. al. (2008) in einer Metastudie untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass in allen von ihnen untersuchten Studien das Wechselspiel gefrorener Boden – getauter Boden dazu führt, dass nach dem Auftauen des Bodens ein stärkerer Verlust von Kohlenstoff (in Form von CO₂) aus dem Boden nachgewiesen werden kann. Jedoch im Vergleich zu den Phasen in denen der Boden gefroren ist ein deutlich geringerer Verlust von Kohlenstoff stattfindet. In Summe bedeutet das, dass über den jahreszeitlichen Zyklus nur ein geringer, bzw. kein tatsächlicher Verlust von Kohlenstoff stattfindet. Parameter, die den Verlust von Kohlenstoff in diesem Zusammenhang beeinflussen, sind in Tabelle 8 für Kohlenstoff aufgeführt. In Bezug auf die bereits erwähnte Anfälligkeit von gefrorenen Böden gegenüber Winderosion ist diese Erkenntnis zu berücksichtigen.

Zunahme von...	Trend für Verlust von CO ₂
Aggregation von Bodenmaterial	Zunahme
Wassergehalt beim Frieren des Bodens	Zunahme
Dauer der Frostperiode	Abnahme
Kohlenstoffgehalt/Kohlenstoffpool	Zunahme
Frosttemperatur	Abnahme

Tabelle 8: Gegenüberstellung von Parametern die Veränderungen im Kohlenstoffhaushalt bewirken (nach Matzner et. al. 2008)

Zhang et. al. (2017) haben die Unterschiede im Anteil an organischem Kohlenstoff auf einer im Winter gepflügten und einer nicht gepflügten Fläche im Feld getestet. Sie haben die obersten 10cm Bodenmaterial auf seine Fähigkeit, organischen Kohlenstoff zu binden bzw. zu halten, getestet. Ebenso wurde die Aggregatstabilität, die Konzentration von organischem Material der Aggregate, und die Emission von CO₂ verglichen. Über einen Zeitraum von 2 Jahren konnten Unterschiede von bis zu 4% im Anteil an organischem Kohlenstoff im Boden zwischen den im Winter gepflügten und den nicht gepflügten Flächen nachgewiesen werden. Ebenso konnten in den obersten 5cm Boden um 9% mehr Aggregate mit einer Größe von <2mm nachgewiesen werden. Die Emission von CO₂ aus dem Boden war im Vergleich in der Trockenzeit deutlich höher, während der Regenzeit konnte

jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Das Offenhalten von Böden über die Wintermonate kann demnach dazu beitragen, dass landwirtschaftliche Flächen gegenüber Winderosion anfälliger sind. Für das Untersuchungsgebiet ist dies von hoher Relevanz.

6.5 Probennahme

In Hinblick auf die Probennahme ist anzumerken, dass sich Mischproben prinzipiell eignen um den Anteil an organischem Kohlenstoff im Boden zu ermitteln, jedoch je nach Einstechtiefe Unterschiede in der Konzentration von organischem Kohlenstoff von bis zu 13% auf der Testfläche nachgewiesen werden konnten. Für Fragestellungen, die den Verlust von Nährstoffen durch Winderosion behandeln, ist dies von großer Bedeutung. Es zeigte sich, dass geringe Einstechtiefen bei der Bodenprobennahme für diese Fragestellung vorteilhafter sind, da sie genauere Werte für den zu untersuchenden Oberboden liefern. Auch in Hinblick auf eine mögliche Modellierung wie in Kapitel 6.2 beschrieben ist die durchgeführte Bodenprobennahme geeignet, um die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff relativ genau zu bestimmen.

6.6 Aggregatstabilität

Der Verlust von organischem Material durch Winderosion bewirkt, dass sich ein vom Anteil an organischem Material abhängiger Bodenparameter wie die Aggregatstabilität ändern kann.

Blume et. al. (2010) haben beschrieben, dass organischer Kohlenstoff als ein wichtiger, den Boden stabilisierender Stoff betrachtet werden muss. Sie stellen fest, dass die stabilsten Aggregate im Boden den höchsten Anteil an organischem Kohlenstoff aufweisen. Ebenso beeinflusst der Anteil bzw. die ausreichende Verfügbarkeit an organischem Kohlenstoff das Denitrifikationsverhalten von Böden. Bodenorganismen können den in Nitrat (NO_3^-) gebundenen Stickstoff in molekularen Stickstoff bzw. in Stickoxide umwandeln. Dazu benötigen diese Organismen leicht zersetzbaren organischen Kohlenstoff als Energielieferant. Dieser stammt hauptsächlich aus toten Pflanzenteilen, aber auch aus Wirtschaftsdünger. Hinsichtlich der Bodenfunktionen merken Blume et. al. (2010) ebenfalls an, dass organischer Kohlenstoff im Boden eine wichtige Rolle bei Adsorptionsprozessen spielt. Der Anteil an organischem Kohlenstoff und die Höhe des Sorptionskoeffizienten haben einen engen Zusammenhang. Organischer Kohlenstoff sorbiert deutlich besser als mineralische Sorbenten.

Tang et. al. (2016) haben bewiesen, dass die größte Konzentration von organischem Kohlenstoff in dem von ihnen untersuchten Boden bis in einer Tiefe von 20cm festgestellt werden kann, dies unabhängig von der Boden- bzw. Landnutzung. Ebenso gezeigt wurde, dass der Anteil an organischem Kohlenstoff bestehender Aggregate im Boden mit zunehmender Tiefe abnimmt, unabhängig von den im Verbund befindlichen Korngrößen. Auch wurde gezeigt, dass mit

zunehmender Größe der Aggregate (>5mm; 5-2mm; 2-1mm; 1-0,5mm; 0,5-0,25mm; <0,25mm) auch der Anteil an organischem Kohlenstoff in diesen abnimmt.

Daraus kann gefolgert werden, dass in kleinen, winderosionsanfälligen Aggregaten größere Mengen an organischem Kohlenstoff gebunden sind. Wenn diese Aggregate in weiterer Folge durch Winderosion verlagert werden geht damit auch ein größerer Verlust an organischem Kohlenstoff einher.

6.7 Fazit und Ausblick

Gezeigt hat sich, dass die vertikale Konzentration von organischem Kohlenstoff im Boden große Auswirkungen auf viele direkt und indirekt davon abhängige Parameter hat. Die Verwendung von Mischproben hat sich als praktikabel erwiesen, auch bei geringen Einstechtiefen. Sowohl praktisch wie auch methodisch eignet sich diese Methode der Bodenprobennahme um die Konzentration von organischem Kohlenstoff, je nach Volumen, zu messen und die Ergebnisse für kleine wie auch große Flächen darzustellen. Im Untersuchungsgebiet konnte mit den verwendeten Methoden eindeutig eine Abnahme der Konzentration von organischem Kohlenstoff mit der Tiefe nachgewiesen werden.

In Hinblick auf zukünftige Experimente und Tests mit dem in-situ Windkanal der Universität Wien lassen sich durch die Ergebnisse der Vortests sowie der Feldtests mehrere Verbesserungsvorschläge ableiten.

Als besonders hilfreich hat sich die Einteilung der zu untersuchenden Fläche in Raster gezeigt. Auch bei kleinerer Rastergröße (andenkbar sind Raster von 20x20cm) ist die im Feldtest getestete Methode der Bodenprobennahme anwendbar. Dieses Raster wäre geeignet, die räumliche Verteilung von organischem Kohlenstoff auf der Fläche darzustellen (als Wert einer Rasterzelle). Ebenfalls für zukünftige Experimente zu empfehlen ist die verwendete Methode der Bodenprobennahme mittels Bohrstock aus unterschiedlichen Mächtigkeiten sowie eine Analyse der vertikalen Konzentration von organischem Kohlenstoff im Boden. Eine einfache und schnelle Beprobung vor sowie nach einer Bewehrung mit einem mobilen Windkanal (oder einem natürlich Erosionsereignis) ist auf diese Weise möglich.

Bei einer zufälligen Anordnung der Raster sowie der dazugehörigen Einstechtiefen sollte es möglich sein, ein dreidimensionales, rasterbasiertes Modell der vertikalen Konzentration von organischem Kohlenstoff der Testfläche zu realisieren und den vorhandenen Kohlenstoffpool des Bodens besser abzuschätzen. Nicht gemessene Werte in den Rasterzellen (vertikal wie horizontal) könnten bei ausreichender Datenmenge interpoliert werden. In Hinblick auf Modellierungen kann eine aus den Ergebnissen von Bodenproben berechnete Funktion dritter Ordnung der Abnahme der Konzentration von organischem Kohlenstoff mit zunehmender Tiefe ebenfalls helfen den vorhandenen Kohlenstoffpool des Oberbodens abzuschätzen.

Der Einsatz des Kohlenstoff-Wasser-Analysators in der Laboranalytik ermöglicht eine qualitativ hochgenaue Analyse der Bodenproben auch bei sehr geringen Probenmengen, die durch das geringe Volumen der Proben aus wenigen Zentimetern Bodenmaterial herrührt.

Um die grundlegende Fragestellung des Verlustes von Nährstoffen durch Winderosion auf landwirtschaftlich genutzten Flächen im Detail zu beantworten bedarf es genauer Informationen über die Bewirtschaftungsmethoden, die angebauten Feldfrüchte, eine eventuelle Fruchtfolge, dem Vorhandensein von Zwischenbegrünungen, detaillierten klimatischen Informationen über Windereignisse, Niederschläge und der Temperatur. Ebenso sind Bodenparameter wie die Aggregatstabilität, die Korngröße, Wasserhaltekapazität und Infiltrationsrate zu berücksichtigen. Das Vorhandensein von natürlichen Hindernissen oder auch vom Menschen geschaffene Hindernisse wie Bauwerke sind von Relevanz.

7 Anhang

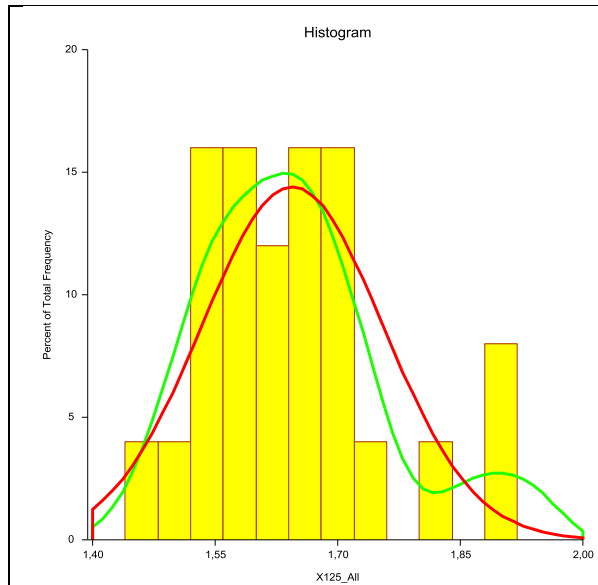


Abbildung 15: Histogramm zum Versuchsaufbau 1

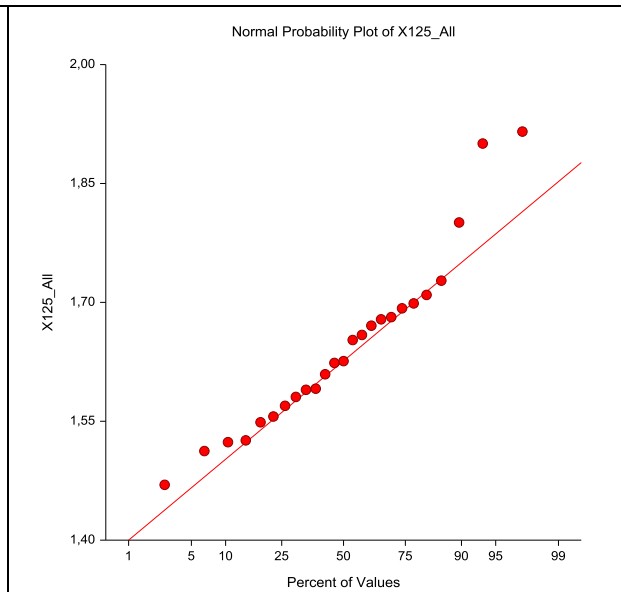


Abbildung 16: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 1

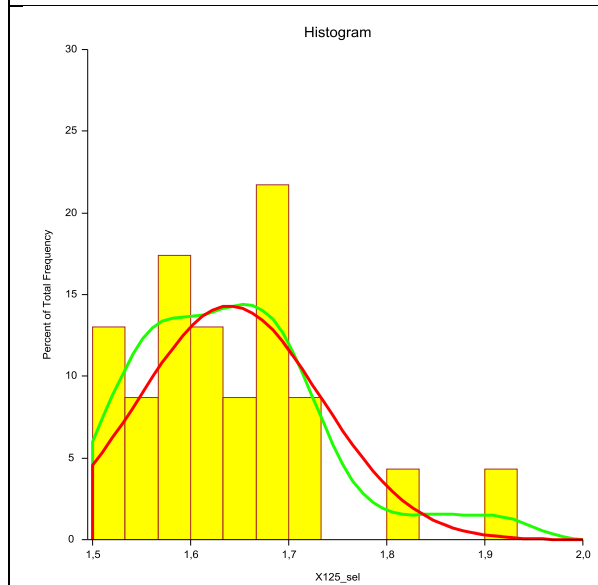


Abbildung 17: Histogramm zum Versuchsaufbau 1 ohne Extremwert

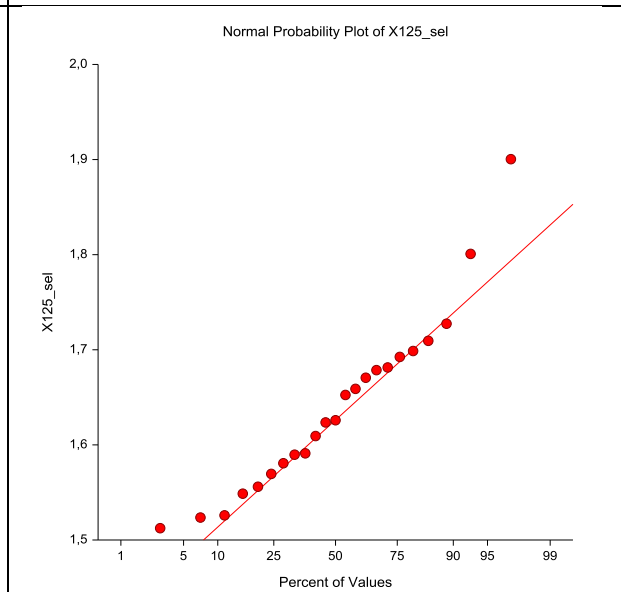


Abbildung 18: Wahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 1 ohne Extremwert

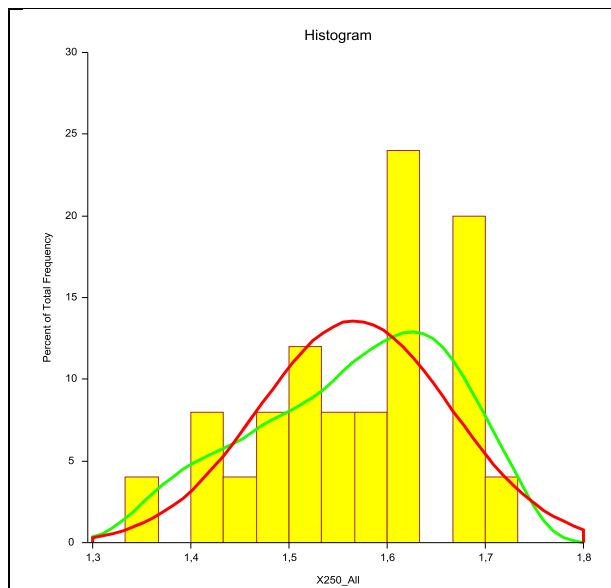


Abbildung 19: Histogramm zum Versuchsaufbau 2

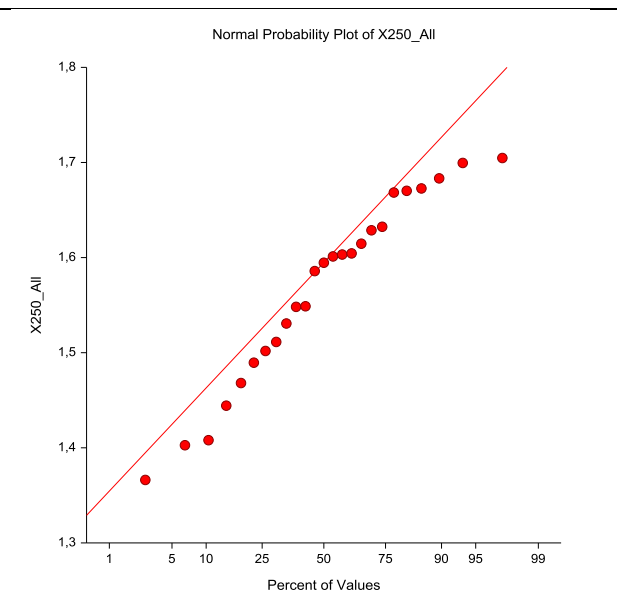


Abbildung 20: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 2

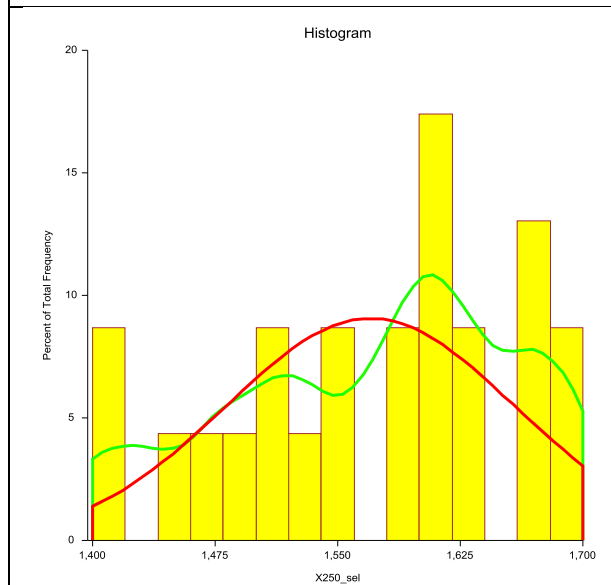


Abbildung 21: Histogramm zum Versuchsaufbau 2 ohne Extremwert

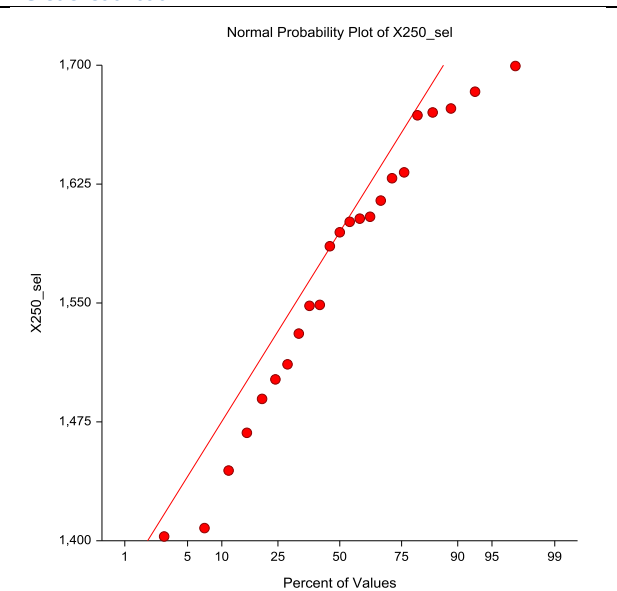


Abbildung 22: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 2 ohne Extremwert

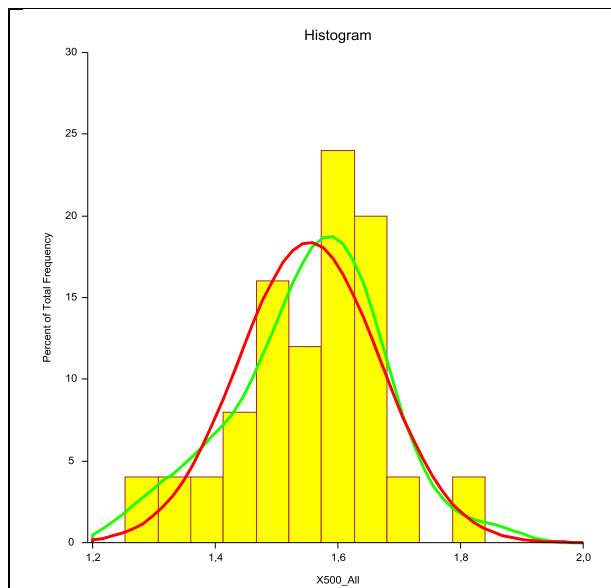


Abbildung 23: Histogramm zum Versuchsaufbau 3

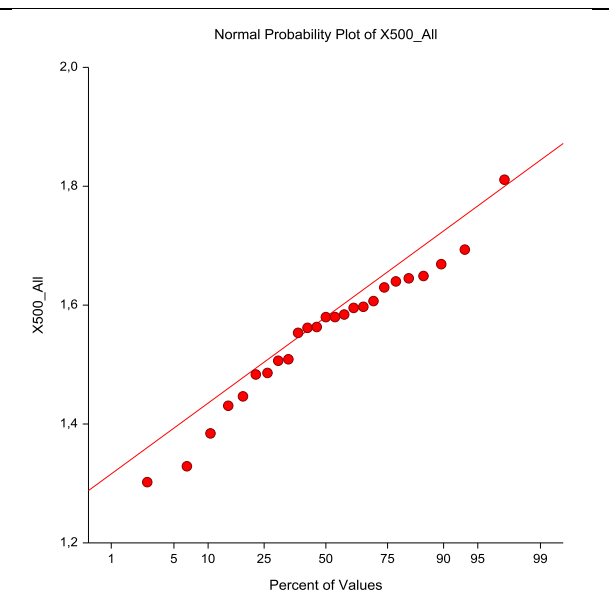


Abbildung 24: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 3

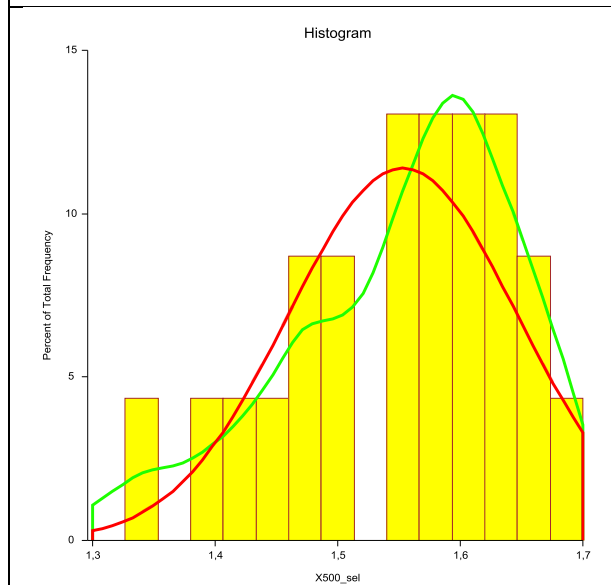


Abbildung 25: Histogramm zum Versuchsaufbau 3 ohne Extremwert

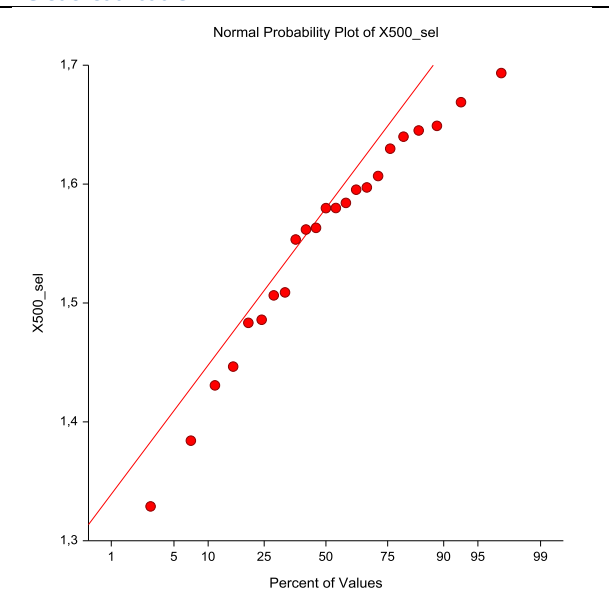


Abbildung 26: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 3 ohne Extremwert

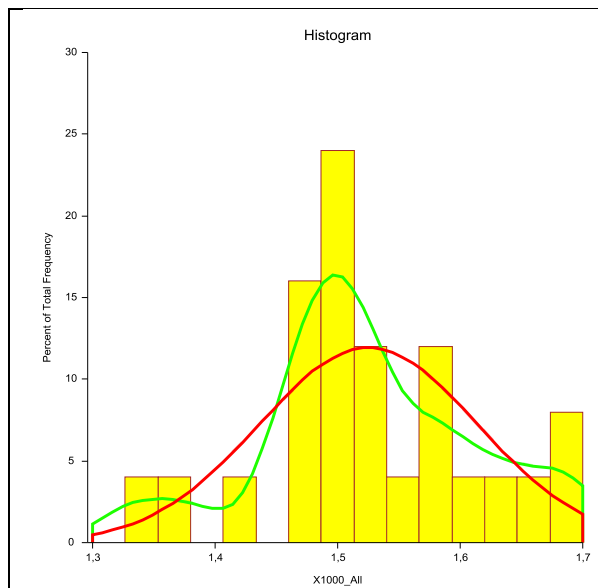


Abbildung 27: Histogramm zum Versuchsaufbau 4

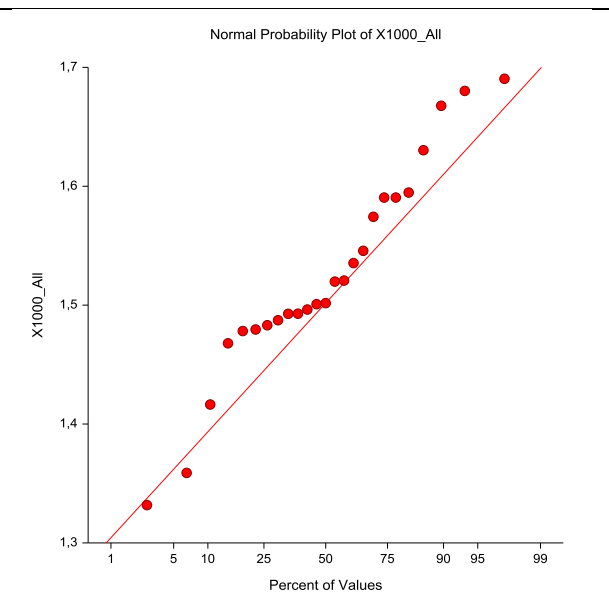


Abbildung 28: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 4

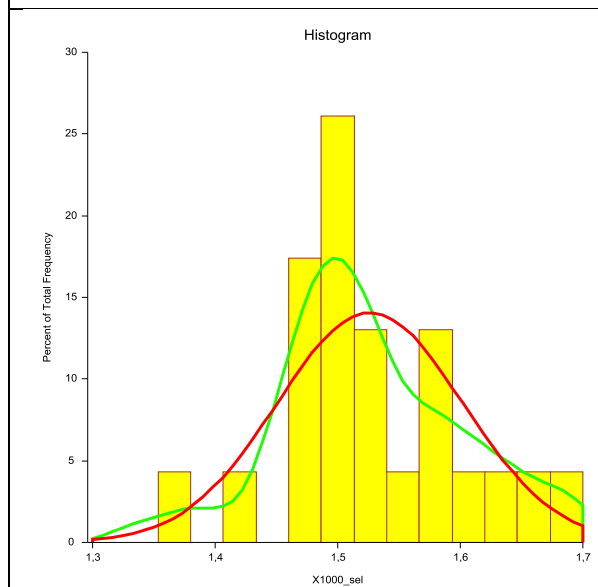


Abbildung 29: Histogramm zum Versuchsaufbau 4 ohne Extremwert

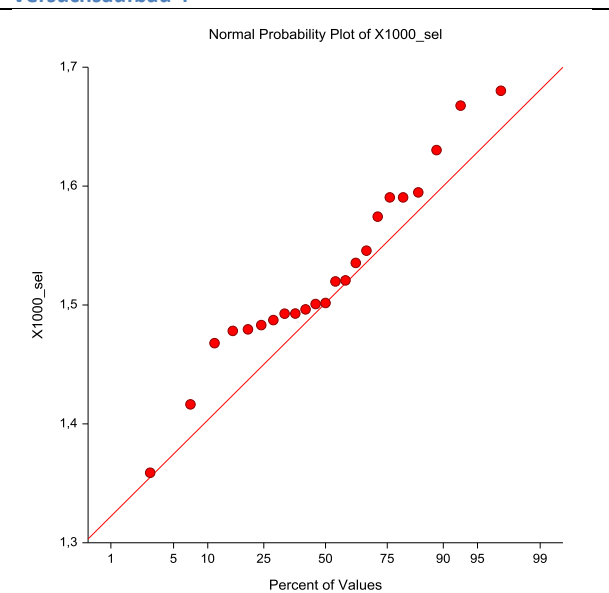


Abbildung 30: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 4 ohne Extremwert

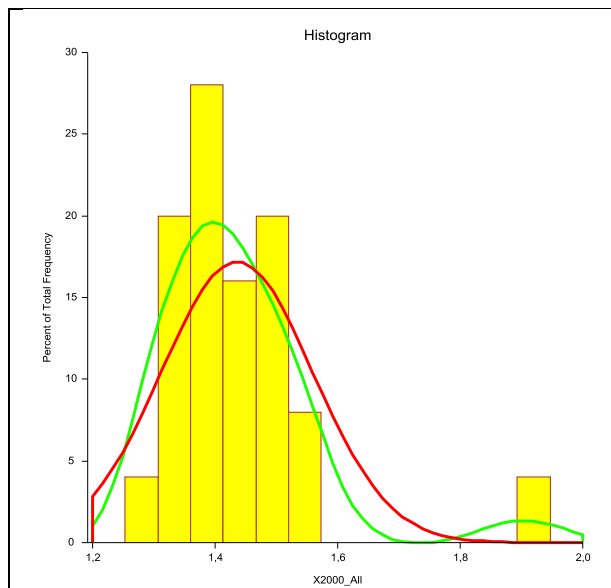


Abbildung 31: Histogramm zum Versuchsaufbau 5

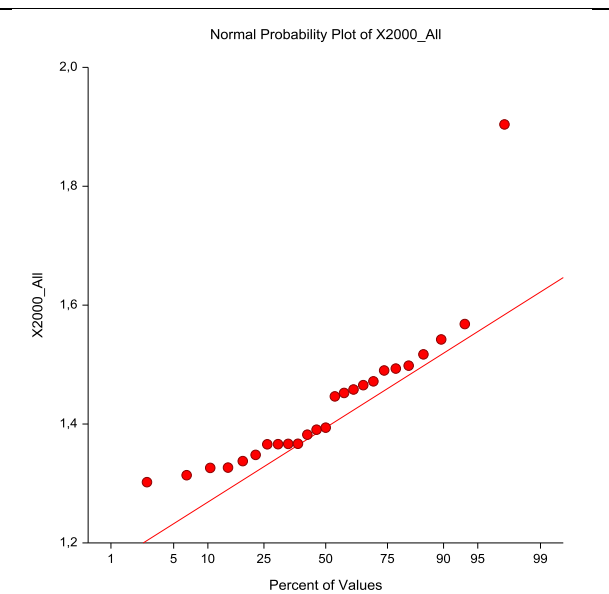


Abbildung 32: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 5

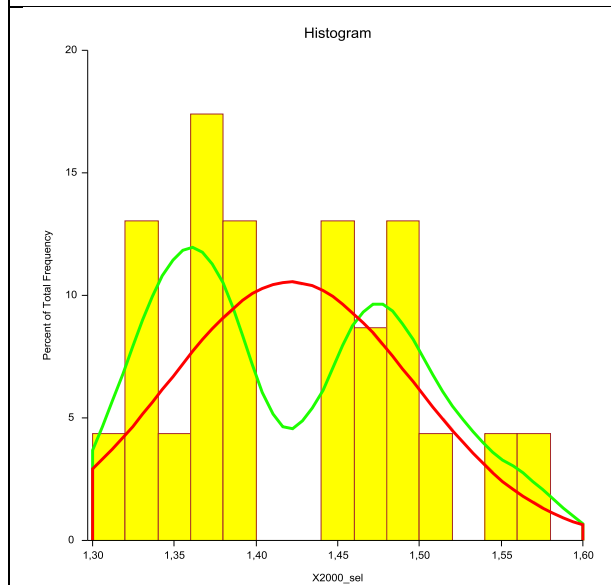


Abbildung 33: Histogramm zum Versuchsaufbau 5 ohne Extremwert

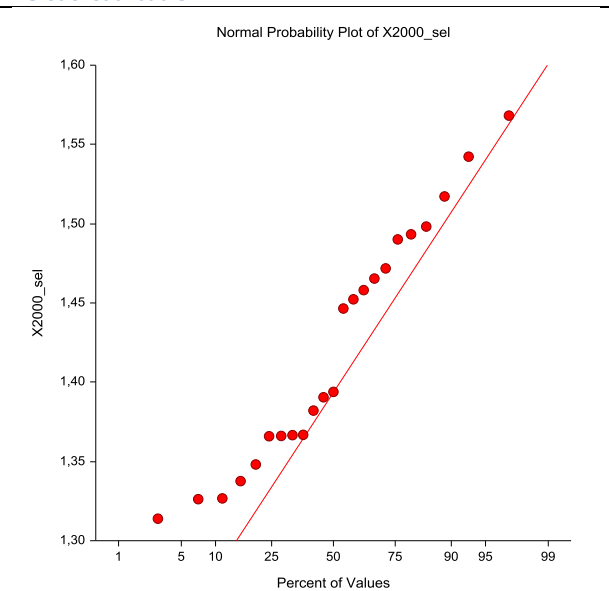
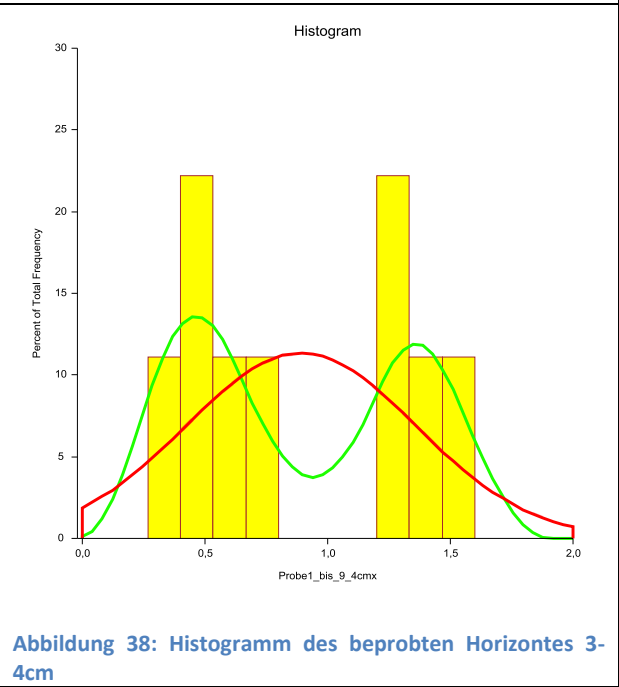
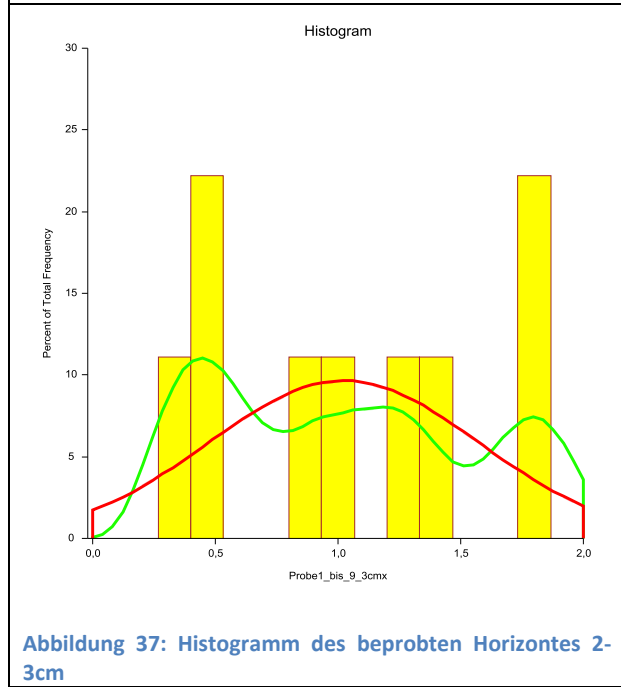
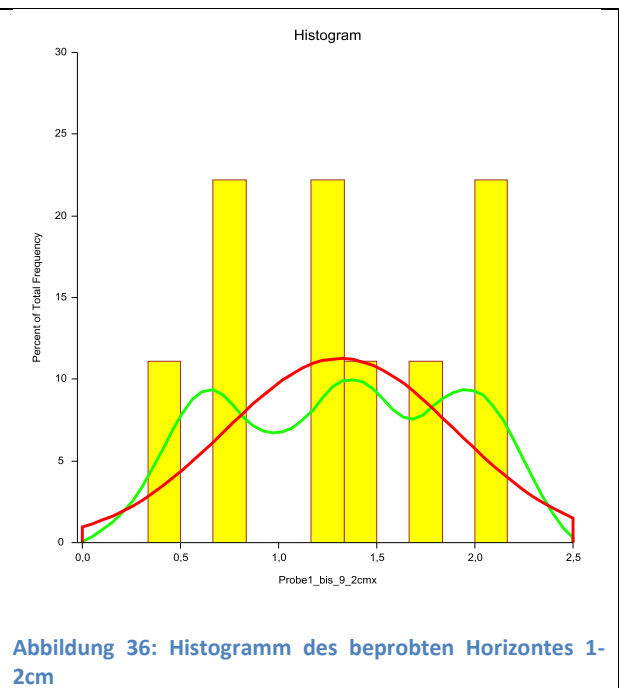
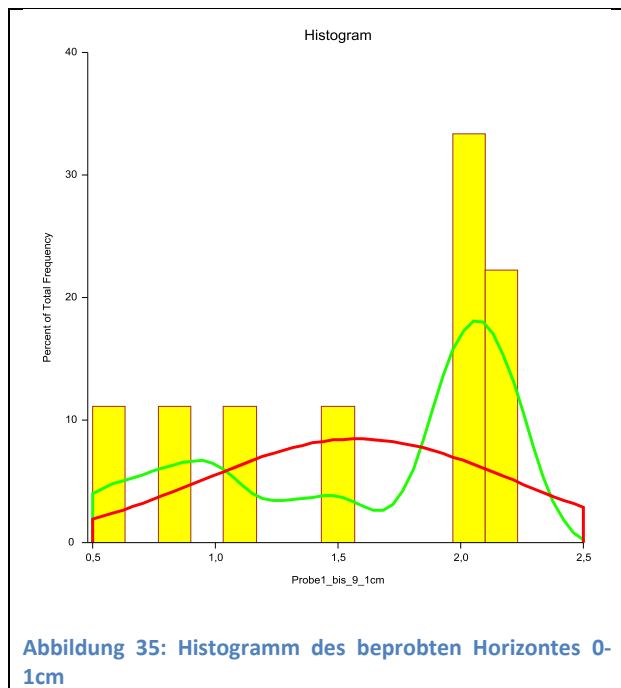
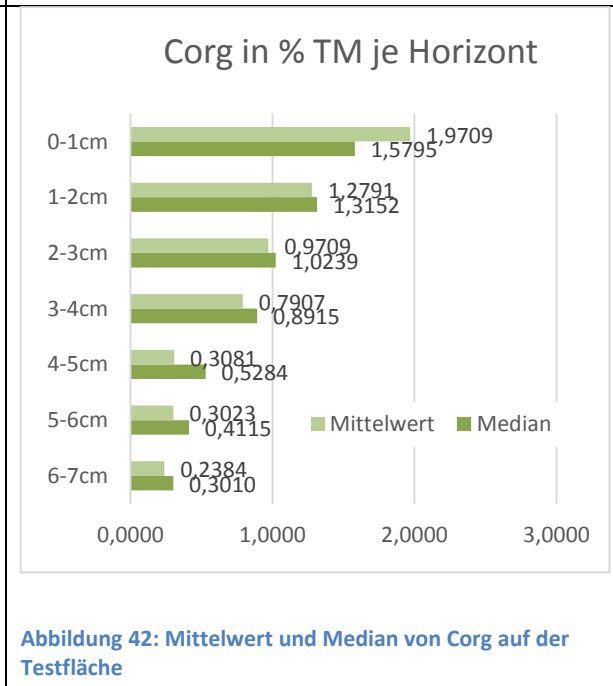
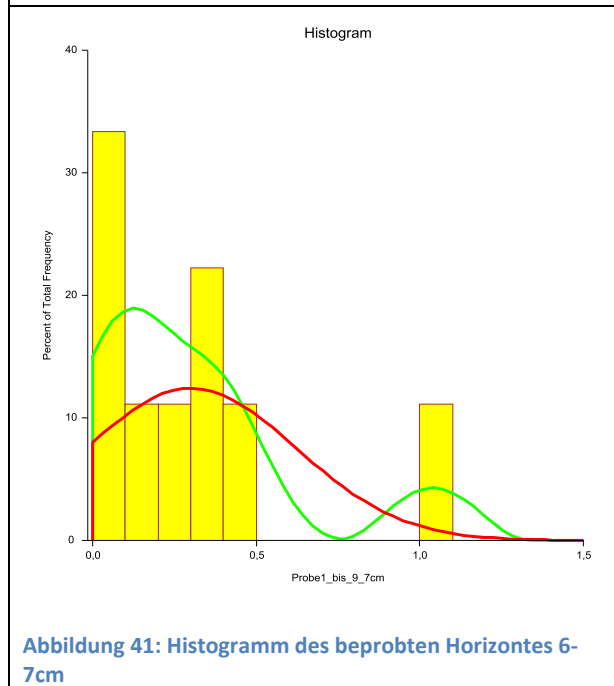
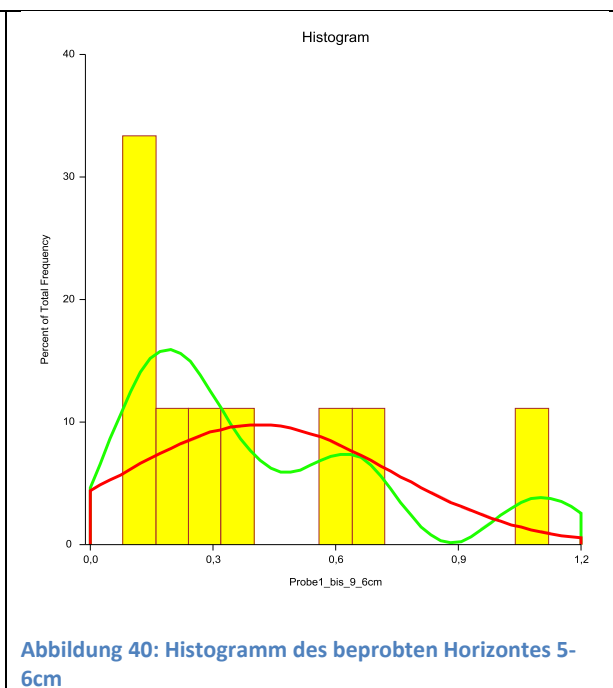
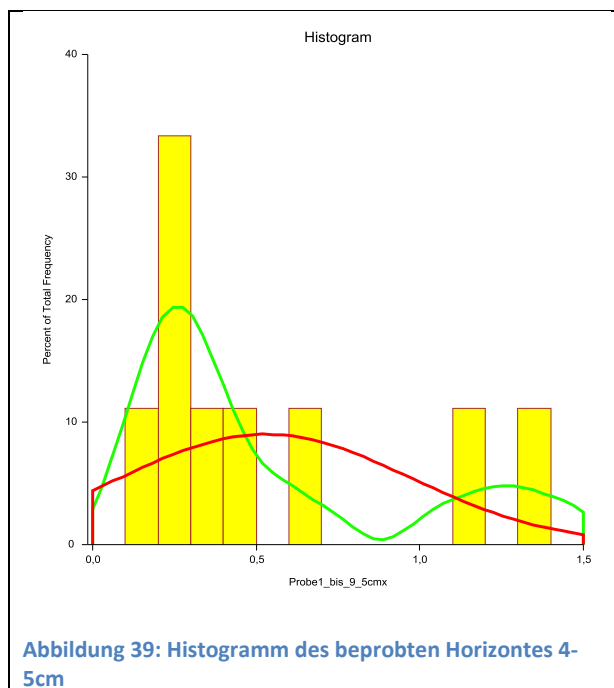


Abbildung 34: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 5 ohne Extremwert





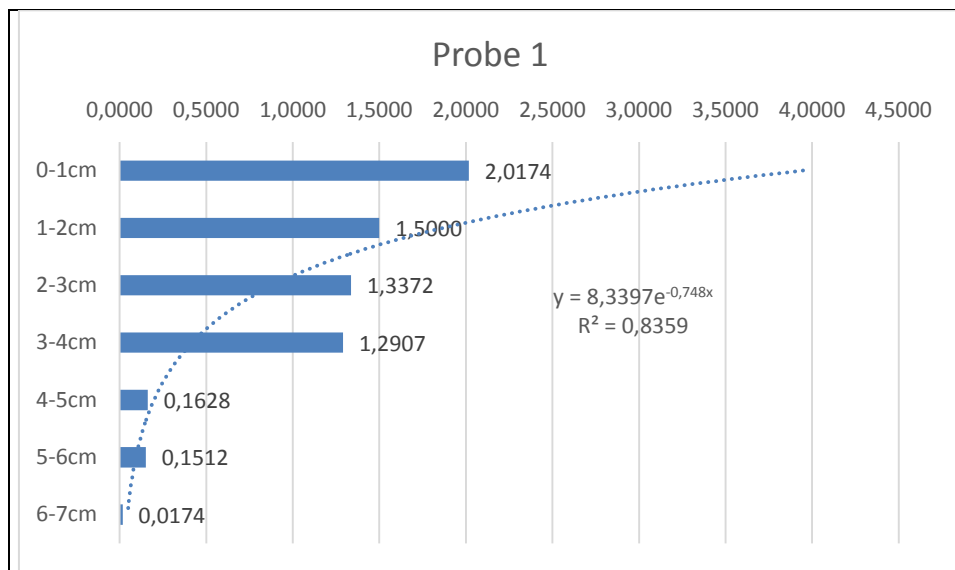


Abbildung 43: Corg nach Horizont (UZA Probe 1)

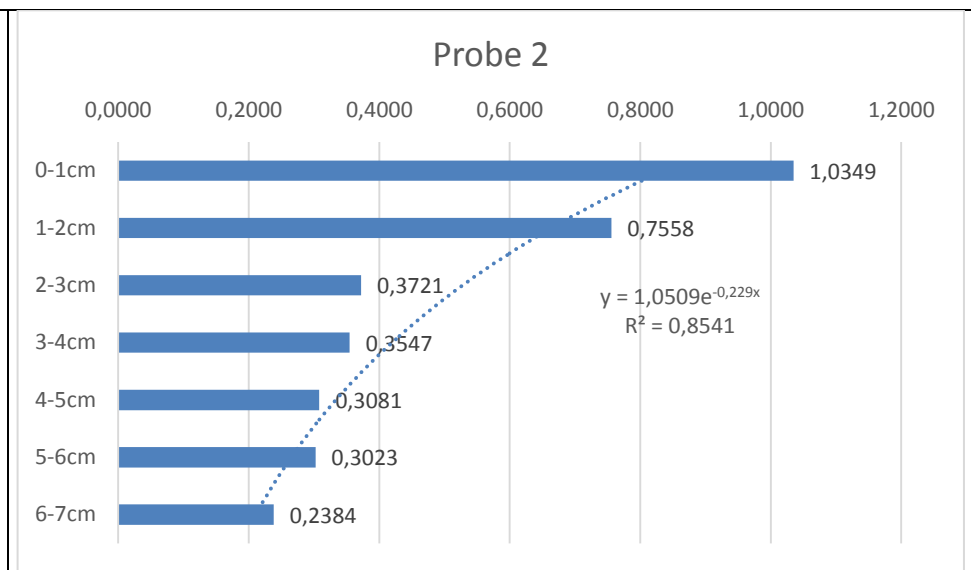


Abbildung 44: Corg nach Horizont (UZA Probe 2)

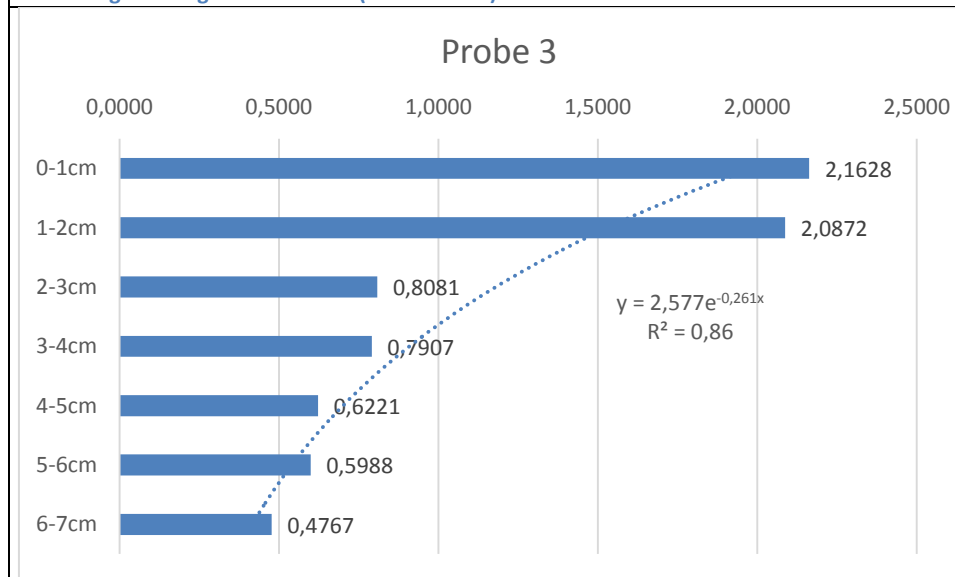


Abbildung 45: Corg nach Horizont (UZA Probe 3)

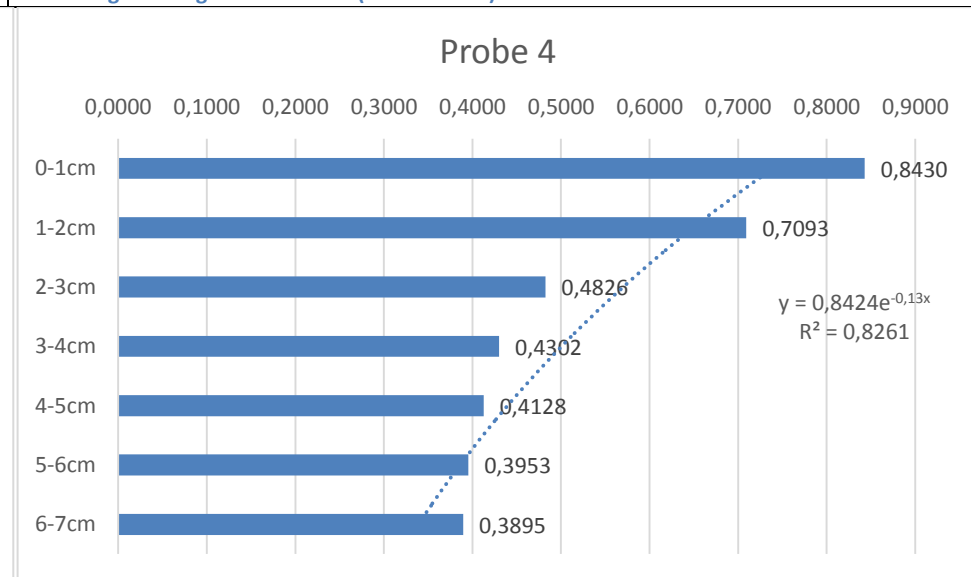


Abbildung 46: Corg nach Horizont (UZA Probe 4)

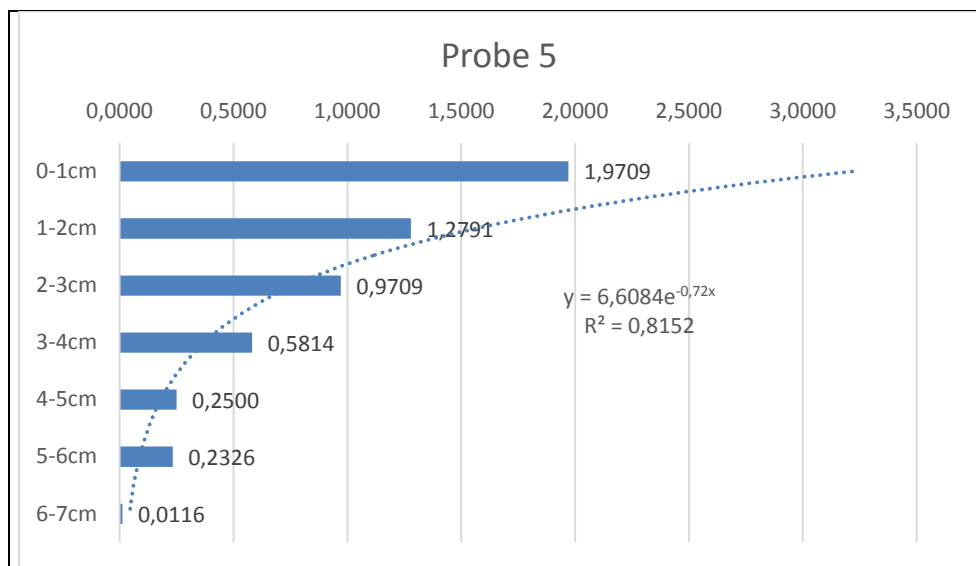


Abbildung 47: Corg nach Horizont (UZA Probe 5)

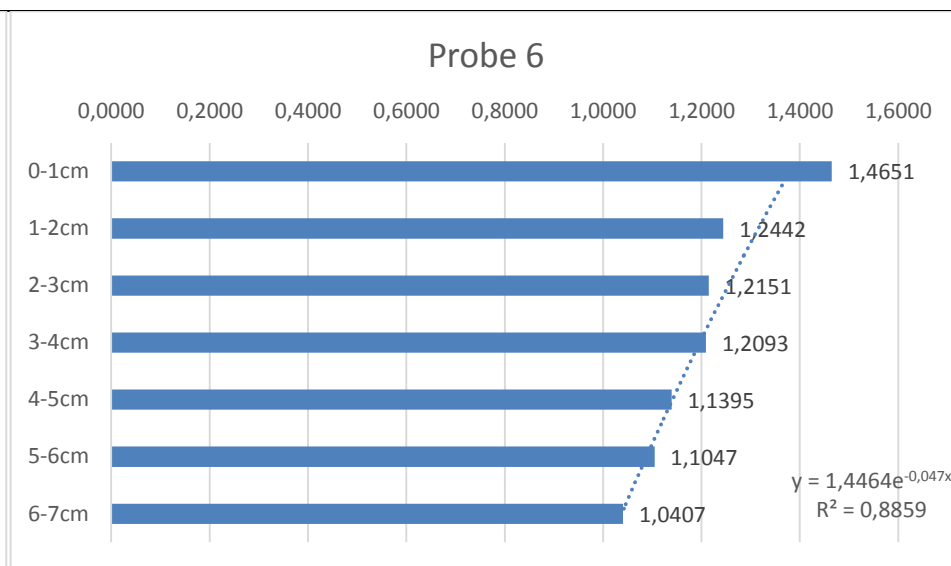


Abbildung 48: Corg nach Horizont (UZA Probe 6)

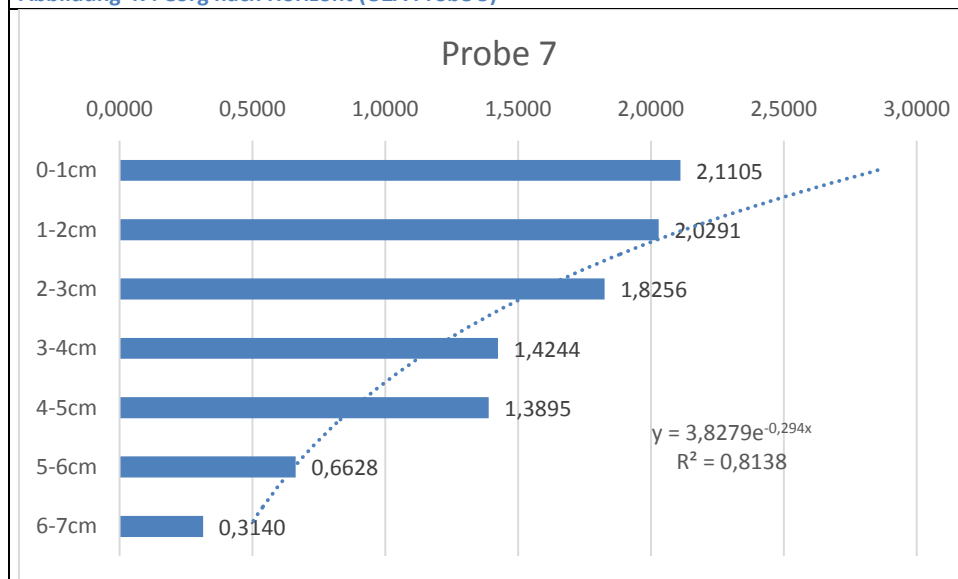


Abbildung 49: : Corg nach Horizont (UZA Probe 7)

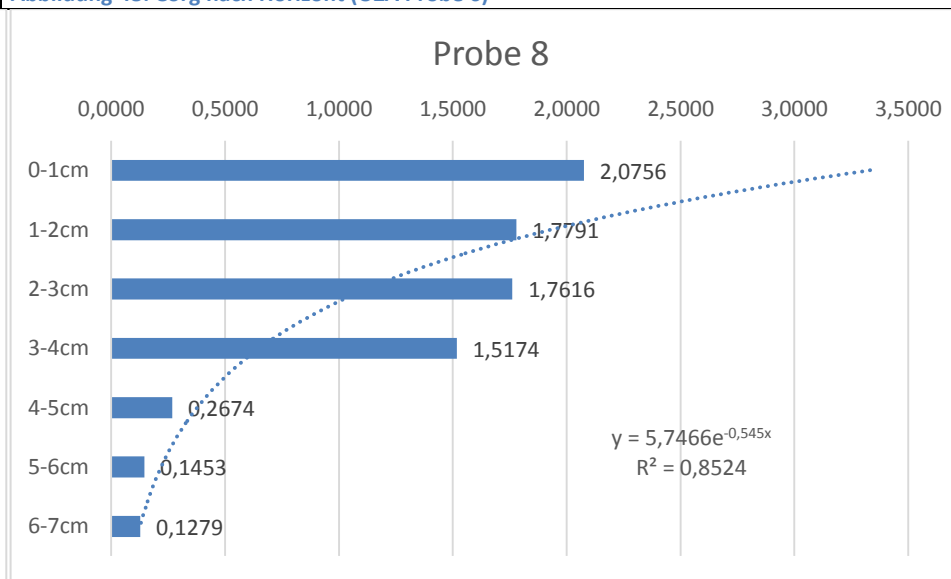


Abbildung 50: Corg nach Horizont (UZA Probe 8)

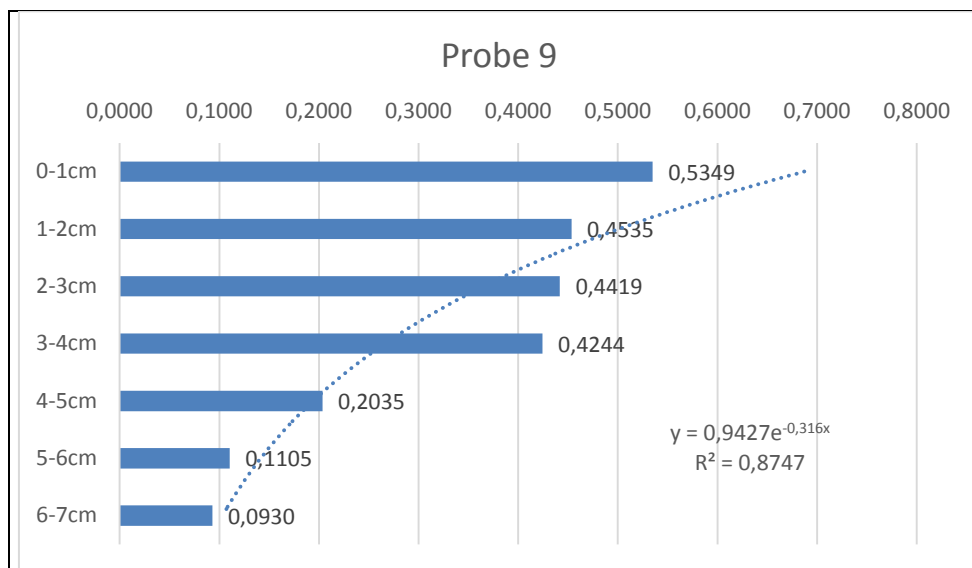


Abbildung 51: Corg nach Horizont (UZA Probe 9)

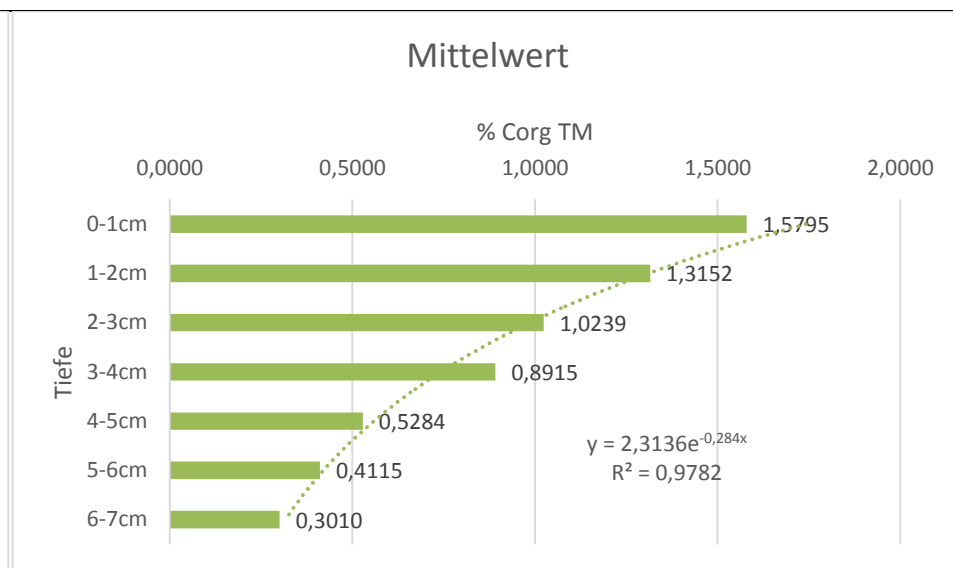


Abbildung 52: Mittelwert Corg nach Horizont (UZA Probe 1-9)

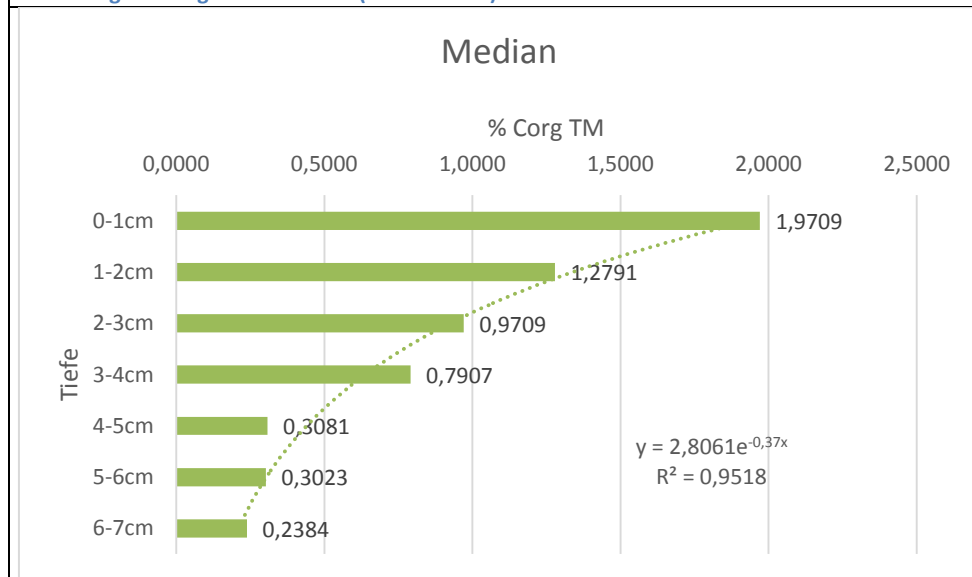


Abbildung 53: Median Corg nach Horizont (UZA Probe 1-9)

8 Abbildungen

Abbildung 1: Prozesse bei Winderosionsereignissen (Ravi et. al. 2011).....	6
Abbildung 2: Vorbereitung der kontrollierten Testfläche	10
Abbildung 3: Vorbereitete Testfläche vor Aufbau des mobilen Windkanals	10
Abbildung 4: maschinelle Bearbeitung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche (Petizcka, 2010)	11
Abbildung 5: Struktur des WEPS (Wagner, 2014)	13
Abbildung 6: angelegter Schürf auf der Testfläche	16
Abbildung 7: Schema der Bodenprobennahme auf der Testfläche	16
Abbildung 8: Lage des Untersuchungsgebietes nord-östlich von Wien (eBOD 2014)	19
Abbildung 9: Bodenprofil nahe Seyring (eBod 2014)	20
Abbildung 10: Vergleich der Mittelwerte der Korngröße auf der Testfläche vor und nach einer Bewehrung (nach Peticzka, 2010)	20
Abbildung 11: Versuchsaufbau innerhalb des Untersuchungsgebietes (eigene Darstellung)	23
Abbildung 12: Boxplot der ermittelten Ergebnisse der Bodenproben aus dem Feld	27
Abbildung 13: Gegenüberstellung des Anteils an organischem Kohlenstoff in %TM je nach verwendeter Kenngröße	29
Abbildung 14: Veränderung der Konzentration von organischem Kohlenstoff	30
Abbildung 15: Histogramm zum Versuchsaufbau 1	40
Abbildung 16: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 1	40
Abbildung 17: Histogramm zum Versuchsaufbau 1 ohne Extremwert	40
Abbildung 18: Wahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 1 ohne Extremwert	40
Abbildung 19: Histogramm zum Versuchsaufbau 2	41
Abbildung 20: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 2	41
Abbildung 21: Histogramm zum Versuchsaufbau 2 ohne Extremwert	41
Abbildung 22: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 2 ohne Extremwert	41
Abbildung 23: Histogramm zum Versuchsaufbau 3	42
Abbildung 24: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 3	42
Abbildung 25: Histogramm zum Versuchsaufbau 3 ohne Extremwert	42
Abbildung 26: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 3 ohne Extremwert	42
Abbildung 27: Histogramm zum Versuchsaufbau 4	43
Abbildung 28: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 4	43
Abbildung 29: Histogramm zum Versuchsaufbau 4 ohne Extremwert	43
Abbildung 30: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 4 ohne Extremwert	43
Abbildung 31: Histogramm zum Versuchsaufbau 5	44
Abbildung 32: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 5	44
Abbildung 33: Histogramm zum Versuchsaufbau 5 ohne Extremwert	44
Abbildung 34: Normalwahrscheinlichkeitsdiagramm zum Versuchsaufbau 5 ohne Extremwert	44
Abbildung 35: Histogramm des beprobten Horizontes 0-1cm	45
Abbildung 36: Histogramm des beprobten Horizontes 1-2cm	45
Abbildung 37: Histogramm des beprobten Horizontes 2-3cm	45
Abbildung 38: Histogramm des beprobten Horizontes 3-4cm	45
Abbildung 39: Histogramm des beprobten Horizontes 4-5cm	46
Abbildung 40: Histogramm des beprobten Horizontes 5-6cm	46
Abbildung 41: Histogramm des beprobten Horizontes 6-7cm	46

Abbildung 42: Mittelwert und Median von Corg auf der Testfläche	46
Abbildung 43: Corg nach Horizont (UZA Probe 1)	47
Abbildung 44: Corg nach Horizont (UZA Probe 2)	47
Abbildung 45: Corg nach Horizont (UZA Probe 3)	47
Abbildung 46: Corg nach Horizont (UZA Probe 4)	47
Abbildung 47: Corg nach Horizont (UZA Probe 5)	48
Abbildung 48: Corg nach Horizont (UZA Probe 6)	48
Abbildung 49: : Corg nach Horizont (UZA Probe 7)	48
Abbildung 50: Corg nach Horizont (UZA Probe 8)	48
Abbildung 51: Corg nach Horizont (UZA Probe 9)	49
Abbildung 52: Mittelwert Corg nach Horizont (UZA Probe 1-9)	49
Abbildung 53: Median Corg nach Horizont (UZA Probe 1-9)	49

9 Tabellen

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Einstechtiefe bei der Probennahme unterschiedlicher Autoren....	14
Tabelle 2: Gegenüberstellung von Methoden zur Probennahme	15
Tabelle 3: Gegenüberstellung klimatischer Eckdaten für das Untersuchungsgebiet und das Jahr 2015	21
Tabelle 4: Wert einer Zelle auf der Testfläche und die dazugehörige Einstechtiefe des Bohrstocks ...	22
Tabelle 5: Test auf Normalverteilung gesamter Datensatz.....	28
Tabelle 6: Test auf Normalverteilung ohne Extremwerte.....	28
Tabelle 7: Gegenüberstellung Polynominalfunktion/Exponentialfunktion einer Modellierung (nach Aldana-Jague et. al. 2016)	34
Tabelle 8: Gegenüberstellung von Parametern die Veränderungen im Kohlenstoffhaushalt bewirken (nach Matzner et. al. 2008)	36

10 Literatur

Zhang, G. S.; Ni, Z. W. (2017): Winter tillage impacts on soil organic carbon, aggregation and CO₂ emission in a rainfed vegetable cropping system of the mid-Yunnan plateau, China. In: *Soil and Tillage Research* 165, S. 294–301. DOI: 10.1016/j.still.2016.09.008.

Aldana Jague, Emilien; Sommer, Michael; Saby, Nicolas P.A.; Cornelis, Jean-Thomas; van Wesemael, Bas; van Oost, Kristof (2016): High resolution characterization of the soil organic carbon depth profile in a soil landscape affected by erosion. In: *Soil and Tillage Research* 156, S. 185–193. DOI: 10.1016/j.still.2015.05.014.

Tang, F. K.; Cui, M.; Lu, Q.; Liu, Y. G.; Guo, H. Y.; Zhou, J. X. (2016): Effects of vegetation restoration on the aggregate stability and distribution of aggregate-associated organic carbon in a typical karst gorge region. In: *Solid Earth* 7 (1), S. 141–151. DOI: 10.5194/se-7-141-2016.

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, ZAMG (2016) Montagsrückblick Juli 2015; <http://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/klima-aktuell/monatsrueckblick/wetterrueckblick/?jahr=2015&monat=07> (abgerufen 01.01.2016)

- Brogniez, D. de; Ballabio, C.; Stevens, A.; Jones, R. J. A.; Montanarella, L.; van Wesemael, B. (2015): A map of the topsoil organic carbon content of Europe generated by a generalized additive model. In: *Eur J Soil Sci* 66 (1), S. 121–134. DOI: 10.1111/ejss.12193.
- Wiesmeier, Martin; Lützw, Margit von; Spörlein, Peter; Geuß, Uwe; Hangen, Edzard; Reischl, Arthur et al. (2015): Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria. The importance of soil types. In: *Soil and Tillage Research* 146, S. 296–302. DOI: 10.1016/j.still.2014.10.003.
- FAO (2014): World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO (World soil resources reports). Online verfügbar unter <http://www.worldcat.org/oclc/885436109>.
- Hong, Se-Woon; Lee, In-Bok; Seo, Il-Hwan; Kwon, Kyeong-Seok; Kim, Tae-Wan; Son, Young-Hwan; Kim, Minyoung (2014): Measurement and prediction of soil erosion in dry field using portable wind erosion tunnel. In: *Biosystems Engineering* 118, S. 68–82. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.11.003.
- Ries, Johannes B.; Marzen, Miriam; Iserloh, Thomas; Fister, Wolfgang (2014): Soil erosion in Mediterranean landscapes – Experimental investigation on crusted surfaces by means of the Portable Wind and Rainfall Simulator. In: *Journal of Arid Environments* 100–101, S. 42–51. DOI: 10.1016/j.jaridenv.2013.10.006.
- Ryals, Rebecca; Kaiser, Michael; Torn, Margaret S.; Berhe, Asmeret Asefaw; Silver, Whendee L. (2014): Impacts of organic matter amendments on carbon and nitrogen dynamics in grassland soils. In: *Soil Biology and Biochemistry* 68, S. 52–61. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.09.011.
- Six, Johan; Paustian, Keith (2014): Aggregate-associated soil organic matter as an ecosystem property and a measurement tool. In: *Soil Biology and Biochemistry* 68, S. A4–A9. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.06.014.
- Wang, L.; Shi, Z. H.; Wu, G. L.; Fang, N. F. (2014): Freeze/thaw and soil moisture effects on wind erosion. In: *Geomorphology* 207, S. 141–148. DOI: 10.1016/j.geomorph.2013.10.032.
- Wiaux, F.; Cornelis, J.-T.; Cao, W.; Vanclooster, M.; van Oost, K. (2014): Combined effect of geomorphic and pedogenic processes on the distribution of soil organic carbon quality along an eroding hillslope on loess soil. In: *Geoderma* 216, S. 36–47. DOI: 10.1016/j.geoderma.2013.10.013.
- Farsang, Andrea; Duttman, Rainer; Bartus, Máté; Szatmári, József; Barta, Károly; Bozsó, Gábor (2013): Estimation of Soil Material Transportation by Wind Based on in Situ Wind Tunnel Experiments. In: *Journal of Environmental Geography* 6 (3–4). DOI: 10.2478/jengeo-2013-0002.
- Genis, Arthur; Vulfson, Leonid; Ben-Asher, Jiftah (2013): Combating wind erosion of sandy soils and crop damage in the coastal deserts: Wind tunnel experiments. In: *Aeolian Research* 9, S. 69–73. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.08.006.
- Li, Dejun; Schädel, Christina; Haddix, Michelle L.; Paul, Eldor A.; Conant, Richard; Li, Jianwei et al. (2013): Differential responses of soil organic carbon fractions to warming: Results from an analysis with data assimilation. In: *Soil Biology and Biochemistry* 67, S. 24–30. DOI: 10.1016/j.soilbio.2013.07.008.
- Ruiz-Colmenero, M.; Bienes, R.; Eldridge, D. J.; Marques, M. J. (2013): Vegetation cover reduces erosion and enhances soil organic carbon in a vineyard in the central Spain. In: *CATENA* 104, S. 153–160. DOI: 10.1016/j.catena.2012.11.007.
- Scott Van Pelt, R.; Baddock, Matthew C.; Zobeck, Ted M.; Schlegel, Alan J.; Vigil, Merle F.; Acosta-Martinez, Veronica (2013): Field wind tunnel testing of two silt loam soils on the North American Central High Plains. In: *Aeolian Research* 10, S. 53–59. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.10.009.
- Zobeck, Ted M.; Baddock, Matthew; Scott Van Pelt, R.; Tatarko, John; Acosta-Martinez, Veronica (2013): Soil property effects on wind erosion of organic soils. In: *Aeolian Research* 10, S. 43–51. DOI: 10.1016/j.aeolia.2012.10.005.

- Alvarez, Lorelei J.; Epstein, Howard E.; Li, Junran; Okin, Gregory S. (2012): Aeolian process effects on vegetation communities in an arid grassland ecosystem. In: *Ecology and evolution* 2 (4), S. 809–821. DOI: 10.1002/ece3.205.
- Fister, W.; Iserloh, T.; Ries, J. B.; Schmidt, R.-G. (2012): A portable wind and rainfall simulator for in situ soil erosion measurements. In: *CATENA* 91, S. 72–84. DOI: 10.1016/j.catena.2011.03.002.
- Gattinger, Andreas; Muller, Adrian; Haeni, Matthias; Skinner, Colin; Fließbach, Andreas; Buchmann, Nina et al. (2012): Enhanced top soil carbon stocks under organic farming. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (44), S. 18226–18231. DOI: 10.1073/pnas.1209429109.
- Basaran, M.; Erpul, G.; Uzun, O.; Gabriels, D. (2011): Comparative efficiency testing for a newly designed cyclone type sediment trap for wind erosion measurements. In: *Geomorphology* 130 (3-4), S. 343–351. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.04.016.
- Ravi, Sujith; D'Odorico, Paolo; Breshears, David D.; Field, Jason P.; Goudie, Andrew S.; Huxman, Travis E. et al. (2011): AEOLIAN PROCESSES AND THE BIOSPHERE. In: *Rev. Geophys.* 49 (3). DOI: 10.1029/2010RG000328.
- Blume, H.P.; Brümmer, G.H.; Horn, R.; Kandeler, E.; Kögel-Knabner, I.; Kretschmar, R.; Stahr, K.; Wilke, B.-M. (2010): Scheffer/Schachtschabel, Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage, Spektrum, Akademischer Verlag
- Colazo, J. C.; Buschiazio, D. E. (2010): Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina. In: *Geoderma* 159 (1-2), S. 228–236. DOI: 10.1016/j.geoderma.2010.07.016.
- Harper, R. J.; Gilkes, R. J.; Hill, M. J.; Carter, D. J. (2010): Wind erosion and soil carbon dynamics in south-western Australia. In: *Aeolian Research* 1 (3-4), S. 129–141. DOI: 10.1016/j.aeolia.2009.10.003.
- Körschens, Martin (2010): Der organische Kohlenstoff im Boden (Corg) – Bedeutung, Bestimmung, Bewertung Soil organic carbon (C org) – importance, determination, evaluation. In: *Archives of Agronomy and Soil Science* 56 (4), S. 375–392. DOI: 10.1080/03650340903410246.
- Petizcka, R. (2010): Endbericht: Forschungsscheck 826022 "In Situ Windkanal" (nicht öffentlich verfügbar)
- Boix-Fayos, Carolina; Vente, Joris de; Albaladejo, Juan; Martínez-Mena, María (2009): Soil carbon erosion and stock as affected by land use changes at the catchment scale in Mediterranean ecosystems. In: *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133 (1-2), S. 75–85. DOI: 10.1016/j.agee.2009.05.013.
- Matzner, E.; Borken, W. (2008): Do freeze-thaw events enhance C and N losses from soils of different ecosystems? A review. In: *Eur J Soil Science* 59 (2), S. 274–284. DOI: 10.1111/j.1365-2389.2007.00992.x.
- Dawson, Julian J C; Smith, Pete (2007): Carbon losses from soil and its consequences for land-use management. In: *The Science of the total environment* 382 (2-3), S. 165–190. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2007.03.023.
- Ritchie, Jerry C.; McCarty, Gregory W.; Venteris, Erik R.; Kaspar, T. C. (2007): Soil and soil organic carbon redistribution on the landscape. In: *Geomorphology* 89 (1-2), S. 163–171. DOI: 10.1016/j.geomorph.2006.07.021.
- Stark, C.; Condron, L. M.; Stewart, A.; Di, H. J.; O'Callaghan, M. (2007): Influence of organic and mineral amendments on microbial soil properties and processes. In: *Applied Soil Ecology* 35 (1), S. 79–93. DOI: 10.1016/j.apsoil.2006.05.001.
- Liu, X.; Herbert, S.J.; Hashemi, A.M.; Zhang, X.; Gind, G.; (2006) Effects of agricultural management on soil organic matter and carbon transformation – a review. In: *Plant Soil Environment* 52. S. 531–543.

- Wang, Xiaobin; Oenema, O.; Hoogmoed, W. B.; Perdok, U. D.; Cai, Dianxiong (2006): Dust storm erosion and its impact on soil carbon and nitrogen losses in northern China. In: *CATENA* 66 (3), S. 221–227. DOI: 10.1016/j.catena.2006.02.006.
- Lal, R. (2005): Soil erosion and carbon dynamics. In: *Soil and Tillage Research* 81 (2), S. 137–142. DOI: 10.1016/j.still.2004.09.002.
- Yan, Hao; Wang, Shaoqiang; Wang, Changyao; Zhang, Guoping; Patel, Nilanchal (2005): Losses of soil organic carbon under wind erosion in China. In: *Global Change Biol* 11 (5), S. 828–840. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2005.00950.x.
- Dexter, A. R. (2004): Soil physical quality. In: *Geoderma* 120 (3-4), S. 201–214. DOI: 10.1016/j.geoderma.2003.09.004.
- Dexter, A. R.; Birkas, M. (2004): Prediction of the soil structures produced by tillage. In: *Soil and Tillage Research* 79 (2), S. 233–238. DOI: 10.1016/j.still.2004.07.011.
- Dexter, A.R (2004): Soil physical quality: Part II. Friability, tillage, tilth and hard-setting. In: *Geoderma* 120 (3-4), S. 215–225. DOI: 10.1016/j.geoderma.2003.09.005.
- FUNK, R.; SKIDMORE, E.; HAGEN, L. (2004): Comparison of wind erosion measurements in Germany with simulated soil losses by WEPS. In: *Environmental Modelling & Software* 19 (2), S. 177–183. DOI: 10.1016/S1364-8152(03)00120-8.
- Lal, R. (2003): Soil erosion and the global carbon budget. In: *Environment International* 29 (4), S. 437–450. DOI: 10.1016/S0160-4120(02)00192-7.
- Rajot, J.L; Alfaro, S.C; Gomes, L.; Gaudichet, A. (2003): Soil crusting on sandy soils and its influence on wind erosion. In: *CATENA* 53 (1), S. 1–16. DOI: 10.1016/S0341-8162(02)00201-1.
- Biélders, Charles L.; Rajot, Jean-Louis; Amadou, Moustapha (2002): Transport of soil and nutrients by wind in bush fallow land and traditionally managed cultivated fields in the Sahel. In: *Geoderma* 109 (1-2), S. 19–39. DOI: 10.1016/S0016-7061(02)00138-6.
- Chen, Yufu; Song, Minghua; Dong, Ming (2002): Soil properties along a hillslope modified by wind erosion in the Ordos Plateau (semi-arid China). In: *Geoderma* 106 (3-4), S. 331–340. DOI: 10.1016/S0016-7061(01)00132-X.
- Jobbágy, Esteban G.; Jackson, Robert B. (2000): The Vertical Distribution of Soil Organic Carbon and Its Relation to Climate and Vegetation. In: *Ecological Applications* 10 (2), S. 423. DOI: 10.2307/2641104.
- Gregorich, E.G.; Greer, K.J.; Anderson, D.W.; Liang, B.C. (1998): Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. In: *Soil and Tillage Research* 47, S. 291–302. DOI: 10.1016/S0167-1987(98)00117-2.

11 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich,

- dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfe bedient habe,
- dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe
- und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit vollständig übereinstimmt.

Wien, am 01.09.2017